

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عمار تليجي بالاغواط
Université Ammar Telidji Laghouat
كلية العلوم
Faculté des Sciences
قسم الإعلام الآلي
Département d'Informatique



**Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention de diplôme de Master en informatique.**

Domaine : Mathématiques et Informatique.

Filière : Informatiques.

Option : Réseaux, système et application répartie.

Réalisé par :

Korichi Tarzi & Sahel Abdenour

**Influence du chemin du puits mobile sur la
couverture dans les RCSF.**

Proposé par :

Melle. Sara BENKOUIDER

Soutenu devant le jury composé de :

N. Lagraa	Professeur	U. Laghouat	Président
S. Benkouider	MAA	U. Laghouat	Rapporteur
Z. Abdelhafidi	MCA	U. Laghouat	Examinatrice

2018 / 2019



Dédicaces

A mes tres chers parents..

Avec tout mon amour et toute mon affection, je vous remercie de m'avoir guidée et surtout d'avoir fait de moi ce que je suis devenu aujourd'hui. Merci Papa, et merci maman pour la pression que tu as su exercer sur moi pour obtenir mon master. j'espère que ce travail vous rendra encore plus fiers.

A la mémoire de mes grands parents..

Je n'ai pas eu la chance de profiter pleinement de vous, mais on se retrouvera un jour, je vous dédie ce travail ..

*Korichi Tarzi
Sahel Abdenour*



Remerciements

Tout d'abord, nous remercions notre Allah de nous avoir donné la force et le courage pour achever ce travail.

Le travail réalisé tout au long de ce mémoire n'a été possible qu'avec l'aide et le soutien de nombreuses personnes. Je profite de l'occasion qui m'est donnée pour leur exprimer toute ma gratitude.

Nous remercions le corps administratif de notre département et tous nos professeurs qui ont été la raison de notre succès.

Nous remercions tout particulièrement notre enseignante Sara pour ses conseils et sa patience avec nous pour que ce travail ait lieu.

Toute la famille et nos amis Amine, Mohamed, SidAli, Hamza, Ali pour être une source d'inspiration. tous les gens qui nous guident pour réaliser ce travail avec une façon ou d'une autre.

Korichi Tarzi &
Sahel Abdenour

Résumé

Un RCSF est un ensemble autonome des nœuds capteurs dédiés à la capture des phénomènes physiques dans une zone d'intérêt. Plusieurs études ont démontré les avantages de l'utilisation d'un puits mobile pour réduire la consommation d'énergie des nœuds et pour collecter des données dans (RCSF). L'absence de la bonne planification du chemin du puits mobile peut soit augmenter sa longueur, ce qui affecte négativement l'énergie du puits, ou ne pas couvrir l'ensemble du réseau entraînant la perte de certaines données d'un nœud. Nous allons étudier et comparer certaines techniques de la collecte de données par puits mobile en nous concentrant sur la technique permettant une couverture complète du réseau.

Mots-clés: RCSF, Puits mobile, Couverture, Collecte de données.

Table des matières

Introduction générale	v
1 La collecte de données dans les RCSF	1
1.1 Introduction	2
1.2 Définition et architecture d'un RCSF	3
1.3 Nœud capteur	4
1.3.1 Définition	4
1.3.2 Différents types de nœud capteurs	5
1.3.3 Architecture de capteurs sans fils	5
1.4 Différents types de réseaux de RCSF	7
1.5 Contraintes de conception des RCSF	8
1.5.1 La tolérance de fautes	8
1.5.2 L'échelle	8
1.5.3 L'environnement	8
1.5.4 La topologie de réseau	8
1.5.5 La consommation d'énergie	8
1.6 Applications des réseaux de capteurs sans fil	8
1.7 La mobilité du sink dans le RCSF	9
1.7.1 Architecture	9
1.7.2 Pourquoi la mobilité du puits?	10
1.8 Vue générale sur la collecte de données par puits mobile	11
1.8.1 Découverte	11
1.8.2 Transfert de données	11
1.8.3 Routage	11
1.8.4 Contrôle de mouvement	11
1.9 Types de données à collecter	12
1.9.1 Données multimédias	12
1.9.2 Données scalaires	12
1.10 Gestion des données dans les réseaux de capteurs	12
1.10.1 Les requêtes dans les réseaux de capteurs	13
1.10.2 Phase de collecte de réponses	14
1.10.3 Stockage de données	14
1.10.4 Compression de données dans les réseaux de capteurs	15
1.11 Conclusion	15
2 Les protocoles de collecte de données	16
2.1 Introduction	17
2.2 Protocole CBDC (collecte de données basée sur la connectivité)	17
2.3 Protocole IPCR (Intersection Points of Communication Range)	20

2.4	Protocole RRP (Protocole de routage basé sur Rendez-vous)	22
2.5	Protocole M-Collecter (collecteurs mobiles)	26
2.6	Synthèse	28
2.7	Conclusion	29
3	Les performances des protocoles CBDC et IPCR	30
3.1	Introduction	31
3.2	Outils d'implémentation	31
3.2.1	Outils logiciel	31
3.2.2	Outils matériel	32
3.3	Analyse des résultats	33
3.4	Conclusion	36
	Conclusion générale	37
	Bibliographie	38

Table des figures

1.1	Collecte de données dans un RCSF avec un seul Sink s	2
1.2	Architecture d'un RCSF	4
1.3	Exemple d'un capteur	4
1.4	Architecture des différents types de noeuds	6
1.5	Domaines d'applications des RCSF	9
1.6	les étape de collecte de données	11
1.7	Traitement des données et propagation des résultats	14
2.1	Exemples sur (a) Distribution des nœuds de capteurs (b) Regroupement des nœuds de capteurs (c) Chemin de le sink mobile.	18
2.2	Scénarios de détermination des points de collecte	22
2.3	Scénarios de détermination des points de collecte	22
2.4	Région de rendez-vous Hr, Hl, Vu, Vb	24
2.5	Région de rendez-vous Hr, Hl, Vu, Vb	24
2.6	Découverte de la région et sélectionne de nœuds passerelle	25
2.7	Exemples de point de vote, noeud voisins (Si) et point vote candidat (li).	26
2.8	Problème de collecte de données à un seul saut	27
2.9	Algorithme de couverture	28
2.10	Collecte de données avec plusieurs M-collectors	28
3.1	Interface graphique du le simulateur Cooja	32
3.2	Comparaison des longueurs de chemin de puits mobiles entre l'IPCR et CBDC avec la portée de transmission 40	33
3.3	Comparaison des longueurs de chemin de puits mobiles entre l'IPCR et CBDC avec la portée de transmission 60	33
3.4	Comparaison des longueurs de chemin de puits mobiles entre l'IPCR et CBDC avec la portée de transmission 80	34
3.5	Le nombre de points de collecte de l'IPCR, CBDC avec la portée de transmission 40	34
3.6	Le nombre de points de collecte de l'IPCR, CBDC avec la portée de transmission 60	34
3.7	Le nombre de points de collecte de l'IPCR, CBDC avec la portée de transmission 80	35
3.8	La couverture du réseau avec la portée de transmission 40	35
3.9	La couverture du réseau avec la portée de transmission 60	35
3.10	La couverture du réseau avec la portée de transmission 80	36

Liste des tableaux

- 2.1 Résumé des quatre techniques 29
- 3.1 Paramétrés de simulation 33

Introduction générale

Le dernier développement technologique et technique qui a eu lieu au cours des décennies passées particulièrement dans l'ordinateur et l'électronique a créé un petit dispositif contenant des processeurs et des communications sans fil. Nous imaginons qu'un groupe de tels dispositifs déployés dans une zone équipée de capteurs connectés parmi eux formant un réseau sans fil capable de contrôler les détails les plus précis dans la région, fournir les données et les transmettre pour le traitement.

Ce type de dispositif est appelé capteur (Sensor) contenant des processeurs, des communications sans fil et des batteries. Ces capteurs sont petits et peu coûteux. Ils ont aussi une flexibilité pour marcher individuellement. Ils peuvent être déployés dans une zone comme : zones militaires, routes, bâtiments, etc. Ils sont souvent déployés dans les endroits qui sont difficiles de s'étendre par des humains dont le but est de fournir les données de cette zone comme la température, l'humidité, le son, etc. Ces données sont transférées au centre pour le traitement et l'étude. Et donc, quand ces capteurs sont déployés dans une zone c'est là où un réseau RCSF est formé.

Le réseau de capteurs sans fil (RCSF) est un nouveau type de réseaux AD-HOC, il contient un grand nombre des capteurs qui sont aléatoirement déployés dans une zone qui peuvent fonctionner sans intervention humaine, ils ne sont pas maintenables. Il contrôle cette zone et envoie des données à travers des sauts multiples au sink qui est un capteur avec plus de ressources et plus d'énergie ainsi qu'il peut avoir la mobilité.

Le principal problème des réseaux de capteurs sans fil est la consommation d'énergie. Ce réseau est constitué d'un grand nombre des nœuds dispersés de manière aléatoire. Un ensemble de ces nœuds surveille presque la même zone et envoie les mêmes données au sink. Ce qui conduit à un traitement et au stockage des données inutiles. Le sink est l'un des composants les plus importants du réseau. Sa défaillance entraînera un arrêt complet de cette partie du réseau. Pour les nœuds qui envoient des données par des multi-sauts nécessitant un nœud intermédiaire (nœud passerelle). Ce nœud se trouve dans le champ du Sink pour envoyer des données par un seul saut. Le nœud de passerelle envoie non seulement ses données, mais il joue également un rôle intermédiaire pour les nœuds distants lors de l'acheminement des données au Sink. Ce nœud utilise sa capacité plus rapidement que le reste des nœuds.

Pour résoudre le problème énergétique, il a été suggéré d'ajouter la mobilité au nœud Sink, de sorte que le Sink se déplace périodiquement sur un chemin qui couvre le réseau et visite chaque nœud ou chaque cluster de nœuds pour collecter ses données par un seul saut au lieu de plusieurs sauts. Dans ce cas, la charge est répartie sur tous les nœuds, donc il va y avoir une meilleure couverture et une augmentation de la durée de vie du réseau.

Dans ce travail, nous étudierons certaines techniques de puits mobiles et l'influence du chemin sur la couverture du réseau.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres:

Le premier chapitre: Il constitue une introduction aux réseaux de capteurs, nous présentons quelques définitions de base du réseau, ses composantes et les types de nœuds utilisés ainsi que le champ d'application de ce type de réseau. Et la tâche la plus importante dans ce réseau à savoir la collecte de données. Nous présentons une vue générale de la collecte de données aussi bien que les types de données et leur gestion.

Le deuxième chapitre: Nous allons mettre le doigt sur les différentes techniques de la collecte de données ainsi que la comparaison entre elles.

Le troisième chapitre: Nous utiliserons le simulateur cooja/contiki pour simuler deux techniques de collecte de données par puits mobile.

LA COLLECTE DE DONNÉES DANS LES
RCSF

1.1 Introduction

Le dernier développement technologique au cours des décennies passées, particulièrement dans l'ordinateur et l'électronique, a créé le petit dispositif (capteur). Ces capteurs ont trois fonctions :

- Capturer les données (de type son, vibration, lumière,...).
- Calculer des informations à l'aide de ces valeurs collectées.
- Les communiquer à travers un réseau de capteurs.

Un réseau de capteurs est composé d'un nombre souvent très important de nœuds qui sont, soit posés à un endroit précis, soit dispersés aléatoirement (souvent déployés par voie aérienne à l'aide d'avions ou d'hélicoptères). En raison de leur diffusion de manière aléatoire, ces capteurs doivent être organisés et connectés, donc ils ont besoin des protocoles pour que les capteurs doivent être très puissants et capables de survivre dans les conditions les plus difficiles tels que les volcans et autres. La tâche principale est de collecter les données des capteurs ensuite les analyser. La collecte de données est l'un des services les plus couramment utilisés dans les applications de réseau de capteurs ; la figure 1.1 montre l'exemple de processus de la collecte de données dans un RCSF dans lequel un seul nœud sink au centre recueille des valeurs de détection de chaque capteur à l'aide d'un arbre de collecte.

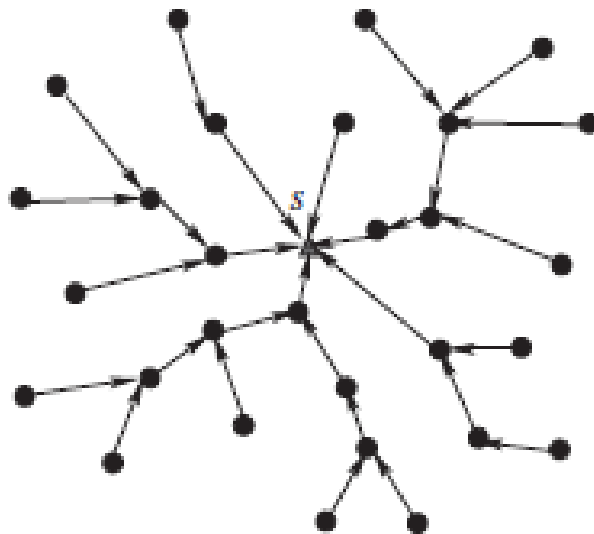


FIG. 1.1 – Collecte de données dans un RCSF avec un seul Sink s

Dans les réseaux de capteur sans fil, les données sont capturées par des nœuds et collectées par le sink de deux façons : par un nœud statique où les données sont agrégées par une connexion de plusieurs sauts, ou par un nœud mobile qui tournent autour de la zone de capteur et collectent les données des noeuds voisins.

Quand les données circulent d'un nœud à un autre. Au niveau de l'un des nœuds spécialisés s'effectue un traitement sur des données tels que le stockage, l'agrégation de données, etc. L'utilisateur envoie une requête aux nœuds pour consulter les données spécifiques comme la température moyenne dans une zone. Dans ce cas, la température est capturée partout par les nœuds et envoyée au nœud sink pour exécuter un traitement et extraire la température moyenne.

Le but de ce chapitre est de fournir une description des réseaux de capteurs (RCSF), leurs caractéristiques, leurs limitations ainsi que ses domaines d'application, et la collecte de données par buits mobile

1.2 Définition et architecture d'un RCSF

Le RCSF est composé d'un ensemble de nœuds capteurs distribué dans une zone géographique. Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter des données telles que la température, l'humidité, etc. Et de transférer ces données à l'ordinateur central pour les analyser. Les nœuds capteurs sont équipés d'un faible taux (10-100 kbps) et d'une petite portée radio sans fil (moins de 100 m) [1].

Leur principale fonction est de capter les informations collectées dans de différents environnements et de les transmettre. Ces nœuds peuvent avoir des positions fixes ou ils peuvent être déployés aléatoirement. Lorsqu'un nœud détecte un évènement, il a la possibilité de le traiter localement ou de l'acheminer vers des nœuds spéciaux appelés Sink via une communication multi-sauts¹, ces sinks possèdent plus de ressources que les nœuds capteurs normaux.

Les nœuds capteurs sont répartis dans l'espace pour la surveillance de leur environnement. Les données collectées sont transmises sans fils à la passerelle qui peut fonctionner indépendamment ou connectée à un système hôte où sont collectées, traitées, analysées et présentées les données de mesure à l'utilisateur à l'aide d'une interface logiciel. L'architecture des RCSF est présentée dans la figure 1.2 [2]

Un réseau de capteurs sans fil se compose de trois éléments principaux : Les nœuds-capteurs, les passerelles et les logiciels [1].

- **Les nœuds capteurs :** sont des unités d'acquisition, de traitement, et de transmission de données.
- **Les passerelles :** sont des nœuds de collecte, appelées aussi station de base, elles permettent la récupération des données et l'interconnexion avec d'autres réseaux.
- **Les logiciels :** est un interface gestionnaires de tâches, qui permettent de la présentation des données envoyées par les passerelles pour l'utilisateur.

1. tout nœud peut échanger les info avec n'importe quel autre nœud du réseau (s'il est à portée de transmission). Un nœud voulant transmettre un message à un autre nœud hors de sa portée de transmission, peut utiliser un nœud intermédiaire pour envoyer son message au nœud destinataire.

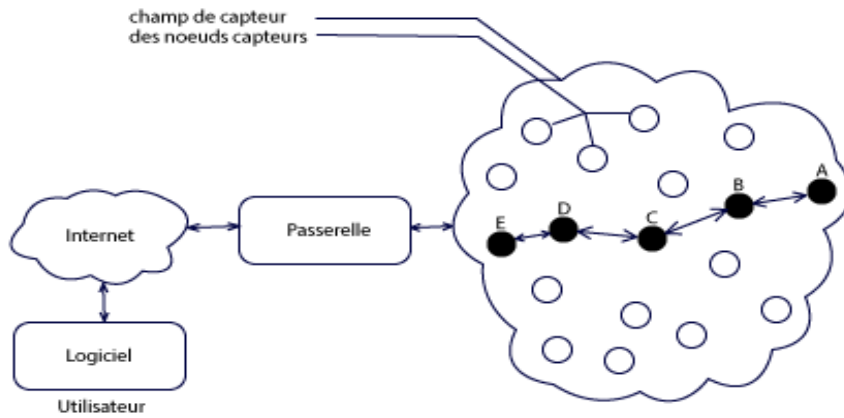


FIG. 1.2 – Architecture d'un RCSF

1.3 Nœud capteur

1.3.1 Définition

Les capteurs sont des dispositifs de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capable de traiter les informations et de les transmettre via les ondes radio à une autre entité (capteurs, unité de traitements...) sur une distance limitée à quelques mètres.

Les réseaux de capteurs utilisent un très grand nombre de ces capteurs pour former un réseau sans infrastructure établie. Un capteur analyse son environnement et propage les données récoltées aux capteurs appartenant à sa zone de couverture. Chaque capteur relayant l'information sur sa propre zone de couverture, le réseau se trouve entièrement couvert [1].

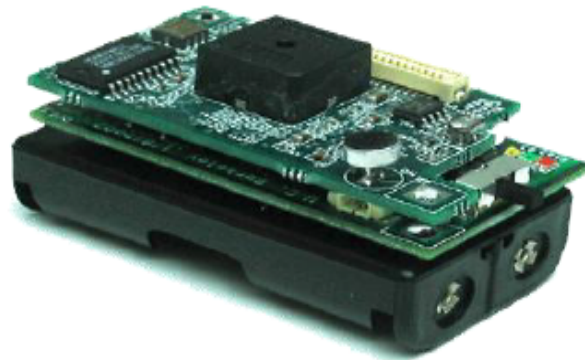


FIG. 1.3 – Exemple d'un capteur

1.3.2 Différents types de nœud capteurs

Selon l'application et la structure choisies, un RCSF peut contenir différents types de nœuds:

- **Nœud régulier** : C'est un nœud doté d'une unité de transmission et de traitement de données. L'unité de transmission de données est responsable de toutes les émissions et les réceptions de données via un support de communication sans fil. L'unité de traitement de données est composée d'une mémoire, d'un microcontrôleur et d'un système d'exploitation par exemple TINYOS. Elle est responsable du traitement de données en provenance ou à partir de l'unité de transmission. Ces deux unités sont alimentées par une batterie embarquée comme le montre la figure 1.4. Selon le domaine d'application. Un nœud peut être équipé d'unités supplémentaires ou optionnelles (voir la figure 1.4).
- **Nœud capteur** : Ou "nœud source" c'est un nœud régulier équipé d'une unité d'acquisition ou de détection. L'unité d'acquisition est généralement dotée d'un ou de plusieurs capteurs qui obtiennent des mesures analogiques (physiques et physiologiques) et d'un convertisseur Analogique/Numérique qui convertit l'information relevée en un signal numérique compréhensible par l'unité de traitement afin de les transmettre directement ou via une communication multi-sauts à un utilisateur final (voir la figure 1.4).
- **Nœud actionneur** : Ou "robot" est un nœud régulier doté d'une unité lui permettant d'exécuter certaines tâches spécifiques comme des tâches mécaniques (se déplacer, combattre un incendie, piloter un automate, etc) (voir la figure 1.4).
- **Nœud puits (Sink)** : C'est un nœud régulier doté d'un convertisseur série connecté à une seconde unité de communication GPRS (*en anglais Global Packet Radio Service*), Wi-Fi, WiMax (*en anglais Worldwide Interoperability for Microwave Access*). La seconde unité de communication fournit une retransmission transparente des données provenant des nœuds capteurs à un utilisateur final ou d'autres réseaux comme l'internet (voir la figure 1.4).
- **Nœud passerelle** : C'est un nœud régulier permettant de relayer le trafic dans le réseau sur le même canal de communication. Nous pouvons voir l'architecture de chacun de ces nœuds (nœud régulier, nœud capteur, nœud puits, nœud robot et nœud passerelle) sur la figure 1.4.

1.3.3 Architecture de capteurs sans fils

A. Architecture matérielle

Ils existent plusieurs types de capteurs, comme un capteur de température, l'humidité, etc. Cependant, le nœud capteur est composé principalement de quatre unités : l'unité d'acquisition (de captage), l'unité de traitement (Calcul), l'unité de communication (Transmission) et une unité d'énergie [1],(voir la figure 1.4).

- **L'unité de traitement** : Les données captées sont communiquées au processeur où elles sont traitées puis stockées dans la mémoire. Ils existent différents choix pour les unités de traitement.
- **L'unité de communication** : Cette unité comporte deux modules : émetteur/récepteur permettant la communication entre les différents nœuds du

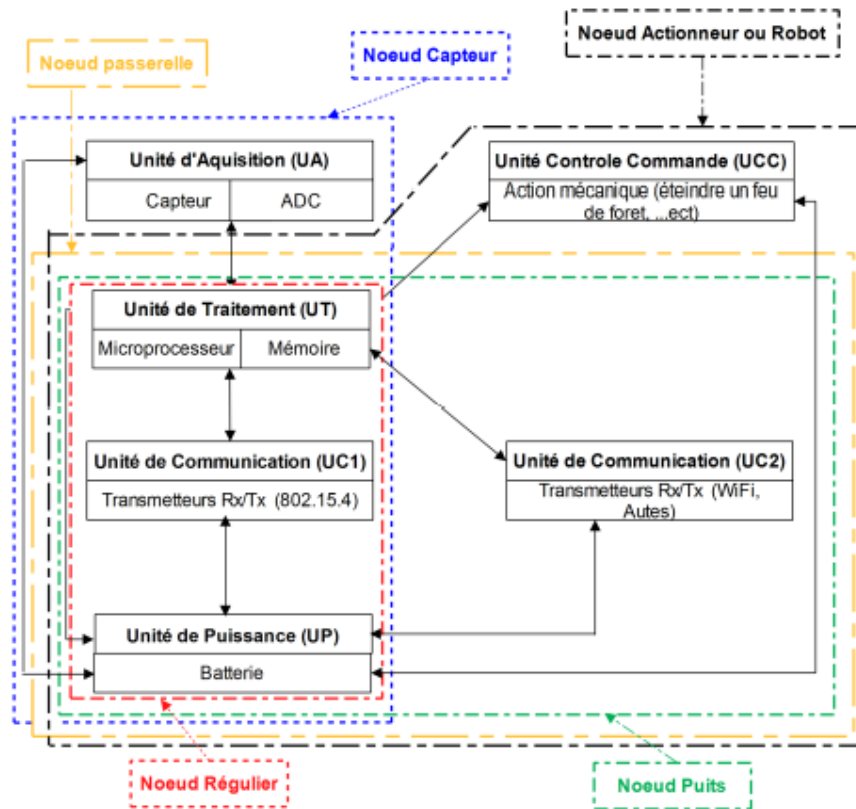


FIG. 1.4 – Architecture des différents types de noeuds

réseau via un support de communication radio de faible portée. Les radios fonctionnent en plusieurs modes : transmission, réception, écoute de la portuse et inactive pour la conservation d'énergie.

- **L'unité de puissance :** Pour des réseaux de capteurs sans fil autonomes, l'alimentation est une composante cruciale. Il y a essentiellement deux aspects : premièrement, stocker l'énergie et la fournir sous la forme requise. Deuxièmement, tenter de reconstituer l'énergie consommée par un réapprovisionnement grâce à une source externe au nœud capteur telles les cellules solaires, disposées souvent sous forme de batteries pouvant alimenter les unités (communication, calcul, capture).
- **L'unité de capture :** Cette unité possède les valeurs sur les paramètres à mesurer et se compose de deux sous-unités :
 - Sous-unité "**Capteurs**" est constituée d'un ou de plusieurs capteurs.
 - Sous-unité "**Analogue ADC**" est le responsable de la conversion du signal analogique en signal numérique.

Suivant le domaine d'application le capteur peut contenir d'autres unités telles que :

- **L'unité de localisation :** Fournit des informations sur la localisation des cibles.
- **Le générateur de puissance :** Permet de générer de l'énergie à partir de l'environnement.

- **L’unité de mobilité :** Indispensable, si les nœuds doivent se déplacer, elle leur donne la possibilité de changer d’emplacement durant leurs mouvements fréquents.

B. Architecture logiciel

La contrainte énergétique des capteurs exige l’utilisation des systèmes d’exploitation légers tels que TinyOS [3].

- TinyOS respecte une architecture basée sur une association de composantes, réduisant la taille du code nécessaire à sa mise en place. Cela s’inscrit dans le respect des contraintes de mémoires qu’observent les réseaux de capteurs.
- la bibliothèque du composant de TinyOS est particulièrement complète puisqu’on y retrouve des protocoles réseaux, des pilotes de capteurs et des outils d’acquisition de données. L’ensemble de ces composantes peut être utilisé tel qu’il est. Il peut aussi être adapté à une application précise.
- Le caractère open source de TinyOS permet à ce système d’être régulièrement enrichi par une multitude d’utilisateurs. En s’appuyant sur un fonctionnement événementiel, TinyOS propose à l’utilisateur une gestion très précise de la consommation du capteur et permet de mieux s’adapter à la nature aléatoire de la communication sans fil entre les interfaces physiques.

1.4 Différents types de réseaux de RCSF

Le monde fait face aux défis divers, sur et au dessous de la terre, aussi bien que sous l’eau et d’autres défis. Il existe trois types de RCSF: (terrestre, souterrain, sous-marin).

- RCSF terrestres:** sont généralement constitués de centaines à des milliers de nœuds de capteurs sans fil peu coûteux déployés dans une zone donnée, de manière prédéfinie ou ad hoc. Dans le déploiement pré-planifié, il existe des modèles de placement dans la grille, de placement optimal, de placement 2D et 3D. Lors d’un déploiement ad hoc, les nœuds de capteur peuvent être retirés d’un plan et placés de manière aléatoire dans la zone cible [4].
- RCSF souterrains:** le RCSF souterrains comprend le nombre de nœuds de capteurs enfouis sous terre, dans une grotte ou dans une mine, utilisés pour surveiller les conditions sous terre. Certains nœuds récepteurs supplémentaires sont situés au-dessus du sol pour relayer les informations des nœuds capteurs à la station de base. Un RCSF souterrains est généralement plus coûteux qu’un RCSF terrestre en termes d’équipement, de déploiement et de maintenance [4].
- RCSF sous-marins:** ils consistent en plusieurs nœuds de capteurs et véhicules déployés sous l’eau. En comparaison avec les RCSF terrestres ,les nœuds de capteurs sous-marins sont plus chers et moins nombreux. Des nœuds de capteurs sont déployés. Les véhicules sous-marins autonomes sont utilisés pour l’exploration ou la collecte de données à partir de nœuds de capteurs. par rapport à un déploiement dense de nœuds de capteurs dans un RCSF terrestre, un déploiement clairsemé de nœuds de capteurs est placé sous l’eau. Les communications sans fil sous-marines typiques sont établies par la transmission d’ondes acoustiques [4].

1.5 Contraintes de conception des RCSF

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit:

1.5.1 La tolérance de fautes

Certain nœuds peuvent générer des erreurs ou ne plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, un problème physique ou une interférence. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau, c'est le principe de la tolérance de fautes. La tolérance de fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruptions dues à une erreur intervenue sur un ou plusieurs capteurs [5].

1.5.2 L'échelle

Le nombre de nœuds déployés dans une mission peut atteindre un million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que le sink soit équipé de beaucoup de mémoire pour stocker les informations reçues [2].

1.5.3 L'environnement

Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille au-delà des lignes ennemies, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés, Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques [2].

1.5.4 La topologie de réseau

Le déploiement d'un grand nombre de nœuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases : Déploiement, Post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner), Redéploiement de nœuds additionnels[2].

1.5.5 La consommation d'énergie

Un capteur, par sa taille, est limité en énergie ($<1.2V$). Dans la plupart de cas, le remplacement de la batterie est impossible. Ce qui veut dire que la durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs (multi-sauts) chaque nœud collecte des données et envoie/transmet des valeurs. Le dysfonctionnement de quelques nœuds nécessite un changement de la topologie du réseau et un reroutage des paquets. Toutes ces opérations sont gourmandes en énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation [2].

1.6 Applications des réseaux de capteurs sans fil

Le RCSF peut avoir beaucoup d'applications (voir figure 1.5). Parmi elles, nous citons [4]:

- **Applications militaires :** L'utilisation des capteurs dans le domaine militaire est en pleine expansion. Ces dispositifs peuvent être utilisés dans les opérations de

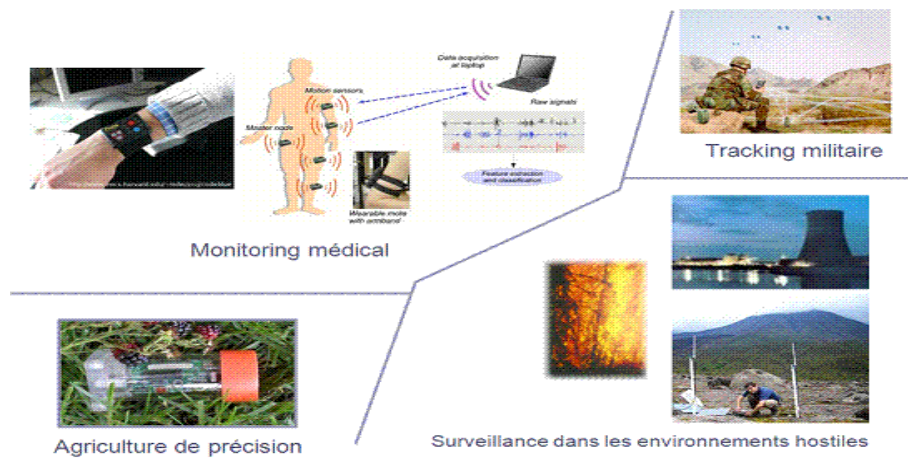


FIG. 1.5 – Domaines d'applications des RCSF

surveillance des champs de bataille, la détection d'intrusion et la reconnaissance des forces amies et ennemies, un déploiement dans un endroit stratégique ou difficile d'accès, afin de surveiller toutes les activités des forces ennemies ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes [6].

- **Applications médicales :** Dans le domaine médical, les capteurs sont utilisés pour la surveillance des données physiologiques d'un patient[7].
- **Découvertes de catastrophes naturelles :** On peut créer un réseau autonome en dispersant le nœud dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tels que feux de forêts, tempêtes ou inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours [4].
- **Applications métier :** On pourrait imaginer devoir stocker des denrées nécessitant un certain taux d'humidité et une certaine température (min ou max). Dans ces applications, le réseau doit pouvoir collecter ces différentes informations et alerter en temps réel si les seuils critiques sont dépassés [8].
- **Contrôle de la pollution :** On pourrait disperser les capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettraient de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe [4].

1.7 La mobilité du sink dans le RCSF

La mobilité du sink est une caractéristique importante dans le RCSF où le puits peut se déplacer à travers le réseau pour collecter les informations directement à partir des nœuds sources. Le puits doit tracer son chemin et découvrir le voisinage qui nécessite un grand nombre de messages de contrôle.

1.7.1 Architecture

L'architecture d'une RCSF à puits mobile est différente de celle d'un RCSF statique. Elle est composée des nœuds réguliers et des nœuds puits:

- **Nœuds réguliers:** sont des nœuds capteurs normaux, (comme nous l'avons mentionné au chapitre 1), où ils détectent des données, les envoient au puits, et jouent

également un rôle intermédiaire dans l'acheminement de données à partir de nœuds distants

- **Nœuds puits:** nœud avec plus de ressources et de mobilité. Son déplacement dépend du type d'application, qu'il soit connecté à une personne, à un animal ou à un robot.

1.7.2 Pourquoi la mobilité du puits?

L'objectif de la mobilité du puits est d'améliorer la durée de vie du réseau en évitant la surcharge des nœuds situés à proximité du puits qui servent d'intermédiaires entre les nœuds distants et le puits mobile lors de l'acheminement des données dont la capacité d'énergie est rapidement épuisée dans un réseau sans mouvement. Dans le réseau à mobilité réduite, le puits se déplace pour collecter des données et change ses voisins à chaque fois pour conserver la puissance des nœuds et ainsi augmenter la durée de vie du réseau.

La mobilité du puits présente de nombreux avantages, notamment :

- **Augmenter la durée de vie du réseau:** Le puits mobile collecte des données d'un seul saut où réduit les multi-sauts dans l'acheminement des données.
- **Améliorer la couverture du réseau :** Le puits couvre le réseau en raison de sa fonction de mobilité en visitant chaque cluster ou nœud isolé.
- **Améliorer la productivité du réseau:** Pour les données, le puits se déplace directement vers ce domaine d'intérêt, ce qui réduit le risque d'erreur de transmission.
- **Améliorer la sécurité :** En exploitant la mobilité du puits, il est relativement difficile d'écouter les informations sur le réseau. De ce fait, le réseau est moins exposé aux menaces de sécurité. Les attaques possibles ciblant les nœuds capteurs de passerelle pour diminuer le fonctionnement du réseau ne sont pas possibles en raison de la mobilité du puits.

1.8 Vue générale sur la collecte de données par puits mobile

La collecte de données par puits mobile est divisée en quatre étapes : la découverte des nœuds, le transfert de données et son acheminement et le contrôle de mouvement [9] comme indique la figure 1.6.



FIG. 1.6 – les étapes de collecte de données

1.8.1 Découverte

La présence d'un nœud mobile dans la zone de communication est inconnue à tous les capteurs, donc la découverte est la première étape pour la collecte de données. Le processus de détection doit pouvoir correctement détecter les nœuds mobiles en peu de temps pour entièrement exploiter le temps de connexion.

1.8.2 Transfert de données

Une fois la présence d'un élément mobile détecté, le transfert de données réel doit être accompli en utilisant un protocole de collecte de données. Par transfert de données, nous entendons le processus de communication entre un élément mobile et ses voisins à un seul saut. En conséquence, les protocoles de transfert de données doivent être conscients des problèmes qui résultent de la mobilité. En effet, le processus de communication est infecté non seulement par les conditions du canal, mais aussi par la distance entre la source et le récepteur.

1.8.3 Routage

Les nœuds dans le réseau sont divisés dans des groupes y compris un point de collecte pour que le sink puisse arrêter et collecter les données des nœuds par un ou plusieurs sauts. Il se peut qu'un nœud puisse être responsable des nœuds dans le groupe pour qu'ils envoient leurs données au nœud responsable tandis que ce dernier les envoie, à son tour, au sink.

1.8.4 Contrôle de mouvement

Le but de faire le mouvement de nœud est de le rapprocher du nœud-capteur pour fournir un peu d'énergie. Il y a 3 catégories de mobilité : la première est la station de base MBS où le nœud sink peut traverser le réseau en entier et collecter les données.

Deuxièmement, le collecteur de données mobiles (MDC) représente plusieurs nœuds capables de se déplacer y compris un nœud de sink. Troisièmement, les solutions basées sur Rendez-vous combinent MBS et MDC [10].

Le chemin du nœud sink peut être classifié dans un chemin contrôlé, prédéfini ou le mouvement aléatoire [11]:

- **Contrôlé** : les déplacements du nœud de sink suivent un chemin contrôlé en faisant le point de collecte de données dans chaque cluster de nœud, le chemin est formé du point de collecte.
- **Prédéfini** : un nœud de sink se déplace dans un chemin prédéterminé et ne peut pas être changé au cours de la durée de vie du réseau. Ce type est approprié pour le contrôle de santé et les applications d'infrastructure.
- **Mouvement aléatoire** : dans ce type il n'y a aucun chemin prédéfini ou contrôlé, le sink se déplace de manière aléatoire. Un exemple de ce type est le contrôle des animaux.

1.9 Types de données à collecter

1.9.1 Données multimédias

Les applications multimédias sont caractérisées par un volume conséquent de données : alors que 2 à 3 octets suffisent à un capteur scalaire pour représenter des données, l'introduction d'aspects multimédias pour la surveillance avec un RCSF nécessite des efforts significatifs pour développer les mécanismes adaptés de contrôle, et c'est à tous les niveaux des couches protocolaires. Les capteurs vidéo et audio permettent de capturer le son ou les images [1].

1.9.2 Données scalaires

Ce sont des mesures de phénomènes physiques telles que : la température, la lumière, la pression, etc. Ce sont des données envoyées par un nœud émetteur au sink de façon périodique à la demande suite à un événement ou en continu. Un capteur scalaire a besoin de quelques octets [1].

1.10 Gestion des données dans les réseaux de capteurs

La collecte des données est une opération basique dans les RCSF. Elle consiste à transmettre les données prélevées par des capteurs vers une station de base. La collecte des données peut être déclenchée par des requêtes (à la demande de l'utilisateur) pour avoir des informations sur le réseau. Elle peut également être déclenchée périodiquement pour surveiller une zone géographique, comme elle peut être déclenchée par l'apparition d'un événement. Les données collectées au niveau de la station de base peuvent être traitées immédiatement pour répondre aux besoins de l'utilisateur. Elles peuvent être également stockées dans une base de données pour être analysées par la suite. On distingue deux types de collecte de données [12]:

- Les données collectées et transmises individuellement vers la station de base lorsque les mesures sont importantes.

- L’agrégation de données, définie comme le processus de fusion de données provenant de plusieurs capteurs au niveau des nœuds intermédiaires afin d’éliminer les transmissions redondantes. L’agrégation de données cherche à collecter les données les plus critiques des capteurs et les transmettre à la station de base de manière efficace avec une latence minimale et une faible consommation d’énergie.

1.10.1 Les requêtes dans les réseaux de capteurs

Les requêtes sont des commandes pour demander une collection de données par lesquelles l’utilisateur est intéressé. Elles sont exécutées par des capteurs déployés dans la zone dont les informations doivent être rassemblées. Par exemple, pour trouver la température moyenne des capteurs du quatrième étage, le système peut collecter des lectures de chaque capteur, puis filtrer la liste des capteurs du quatrième étage et calculer la température moyenne. Alternativement, il peut demander qu’aux capteurs du quatrième étage qui fournissent leurs températures, et puis faire la moyenne des valeurs collectées. Ces enquêtes peuvent être catégorisées selon plusieurs critères comme la fréquence des réponses qui peut être périodique, à la demande, la quantité de données ou des événements [13].

A. Fréquence de réponses

- **Requêtes périodiques :** Détection de capteur se veut périodique d’un ou plusieurs capteurs sur demande aussi bien qu’à un temps défini par l’utilisateur indiqué.
- **Requêtes historiques :** Cette requête est utilisée sur des données précédemment stockées dans la station de base qui décrit l’état précédent du système.
- **Requêtes instantanées:** La requête de données d’un ou plusieurs dispositifs de capteur est à limiter dans le temps seulement.

B. Quantité de donnée

- **Requêtes de sélection :** Cette requête est utilisée pour extraire les données qui respectent certaines conditions, aussi d’un dispositif de capteur particulier que nous choisissons dans la clause ”*WHERE*”, par exemple, la requête ”*SELECT temperature, humidity FROM sensors WHERE location in Region and sensorID=123*”, signifie qu’on demande la valeur de la température et de l’humidité à extraire des capteurs localisés dans la région où l’identificateur du capteur est 123.
- **Requêtes d’agrégation :** Cette requête est utilisée quand les capteurs doivent envoyer une grande quantité de données ou si les données sont répétées dans quelques capteurs, réduire le volume de données ou éliminer la redondance. Elles utilisent des fonctions telles que MIN, MAX, SUM, COUNT et AVG.

C. Événements et durée de vie

- **Requêtes basées sur des événements :** Cette requête est utilisée quand un événement arrive par exemple, dans le cas d’un incendie, si la température atteint un degré supérieur à 100, les capteurs envoient des nouvelles mesures de températures toutes les 5 secondes. On écrit alors la requête: ” *ON EVENT temperature >100 SELECT nodeid, temperature FROM sensors EVERY 5 seconds*”. Ces requêtes peuvent réduire considérablement la quantité d’énergie utilisée dans le réseau.

- **Requêtes basées sur la durée :** ces requêtes sont définies pour fixer une durée de vie pour les requêtes à longue durée d'exécution, car ces dernières n'ont pas de limite pour leur temps d'exécution. Les systèmes de traitement de requêtes TinyDB et Cougar implémentent ce type de requêtes. TinyDB utilise la clause *LIFETIME* <valeur> et Cougar utilise la clause " DURATION " et la clause " EVERY " pour définir la durée de vie de la requête.

1.10.2 Phase de collecte de réponses

Quand l'utilisateur demande des données du réseau, la station de base envoie la requête aux nœuds pour aller chercher des données, parfois le nœud peut publier la requête aux sous-nœuds. (Comme dans la figure 1.7), après l'exécution de la requête et de la création du résultat, le nœud envoie les données à la station de base. L'envoi de ces données exige beaucoup d'énergie dans le cas de grandes données ou la répétition de l'ordre de la station de base. Plusieurs techniques ont été proposées pour conserver l'énergie comme : l'agrégation, la compression des données. Elles font ces nœuds capables de traiter les données localement [13].

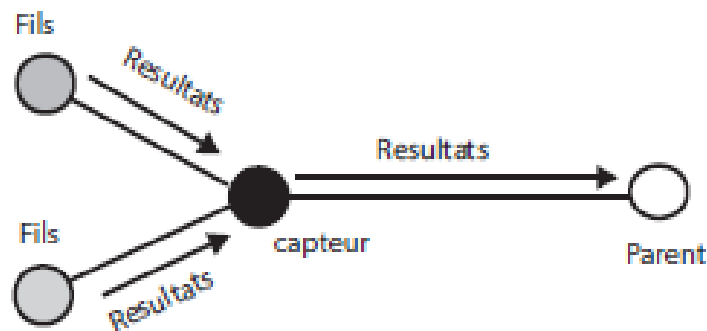


FIG. 1.7 – *Traitement des données et propagation des résultats*

1.10.3 Stockage de données

On distingue également deux approches de stockage de données dans les RCSF [13].

Approche entreposage

Dans cette approche, le traitement de requête et l'accès au réseau sont séparés. La base de données est localisée dans le centre de réseau (basé sur le système central), les données dans cette base de données sont traitées pour répondre à la requête des utilisateurs, une approche appropriée pour des requêtes de données historiques.

Approche distribuée

Dans cette approche, les données sont stockées dans un serveur de base de données et aussi dans les capteurs eux-mêmes (étant considérées les bases de données), pour traiter la requête publiant la mise en œuvre font des projets pour des sites multiples, des requêtes à long terme produisent un long temps de réponse et en conséquence seulement

des données appropriées sont extraites du réseau réduisant ainsi des transferts de données dans le réseau.

1.10.4 Compression de données dans les réseaux de capteurs

Le grand transfert de données mène à la consommation d'énergie significative, beaucoup de techniques, y compris la compression de donnée a proposé l'objectif principal de cette technique est de réduire la quantité de données pour faciliter le transfert de réseau ou le stockage.

Les deux principales opérations dans la compression de données sont : la compression et la décompression. Ces étapes permettent de définir deux catégories de compression : la compression sans perte et la compression avec pertes. Lorsque l'objet avant compression est identique à celui après la décompression, on parle d'un algorithme sans perte sinon lorsqu'il y a une différence entre les deux objets, on parle d'algorithmes avec pertes [12].

1.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit brièvement un réseau de capteur, ses domaines d'applications, son architecture, ses principales contraintes de conception, décrivant et définissant le capteur. Et nous avons présenté une vue générale sur la collecte de données par puits mobile dans les RCSF. Nous avons aussi parlé du traitement et des types données collectée aussi bien que des requêtes, et nous avons parlé de la mobilité du sink, de son importance et de ses avantages.

Dans le prochain chapitre, nous continuerons notre étude sur ces réseaux, nous exposerons une étude comparative entre les techniques.

LES PROTOCOLES DE COLLECTE DE
DONNÉES

2.1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont composés d'un grand nombre de noeuds capteurs déployés dans une zone. Ces noeuds sont équipés pour capturer des données et les envoyer à la station de base. Le but de ce réseau est qu'il doit fournir des données pour des applications comme : découvertes de catastrophes naturelles, Contrôle de la pollution, Surveillance médicale, Contrôle d'édifices.

Après que les données sont capturées, elle sont seront transférées au sink via des sauts multiples. Les noeuds qui sont proches du sink prennent la responsabilité de transmettre les données des noeuds les plus éloignés du sink. Donc, plus le capteur est proche du sink, plus sa batterie s'épuise vite. De ce fait il est impossible de changer ou charger sa batterie. Il est impératif que le protocole d'économie d'énergie soit présent pour que la batterie soit durable que le réseau.

Nous distinguons deux types de sinks statique et mobile. Le sink statique nécessite une connexion multi-saute pour recevoir les données du noeuds source. De l'autre côté, les sinks mobiles tournent autour de la zone de capteur et collectent les données des noeuds voisins.

Deux principaux problèmes sont liés à la collecte de données. Le premier réside dans l'alimentation limitée du sink mobile. Parce que sa trajectoire est trop longue. Le second problème sa représenté dans la faible vitesse de la collecte des données associées aux éléments mobiles.

Dans ce chapitre, nous abordons la manière avec laquelle se font les techniques de la collecte des données dans RCSF avec le sink mobile.

2.2 Protocole CBDC (collecte de données basée sur la connectivité)

Dans CBDC, un large nombre de noeuds est distribué aléatoirement dans une zone donnée. Ces noeuds sont fixés et capables de faire la communication entre eux et de capturer les données de l'environnement comme le montre la figure 2.1. Les noeuds capturent les données tandis que le Sink est capable de les collecter et de se déplacer dans l'environnement. En ce qui concerne le problème d'énergie et de temps, ce noeud doit se déplacer dans un chemin limité par un ensemble de points de collecte (CPs) situant dans le champ du capteur. Lorsque le Sink atteint le point de collecte (CP) tous les noeuds statiques proches du point de collecte lui envoient leurs données selon les deux étapes suivantes [14] :

- Dans le champ de communication du sink, les noeuds qui n'ont pas besoin d'un algorithme de cheminement envoient leurs données directement au sink par un saut [7]¹.

1. Noeuds à un seul saut : les noeuds qui se situent directement dans la intervalle de communication du noeud de sink.

- Les noeuds envoient leurs données par de multiples sauts [7]² au cas où ils sont hors du champ de communication. Ces noeuds ont besoin d'autres noeuds comme passerelle pour transmettre leurs données au sink ; les noeuds passerelles sont ceux qui se trouvent dans le champ de communication de sink. Dans ce cas, les noeuds ont besoin d'un algorithme acheminant les données pour le problème d'énergie.

Principe

le protocole CBDC est exécuté en trois phases comme illustre la figure 2.1:

- **a:** La distribution aléatoire des noeuds incluant le noeud de sink.
- **b:** La division de tous les noeuds en clusters, chaque cluster contenant le point de collecte (CP), donc les noeuds qui sont dans un cluster envoient leurs données directement au sink par un saut et les noeuds qui sont à l'extérieur d'un cluster envoient leurs données par des sauts multiples.
- **c:** Le chemin du sink mobile passe par tous les points de collecte.

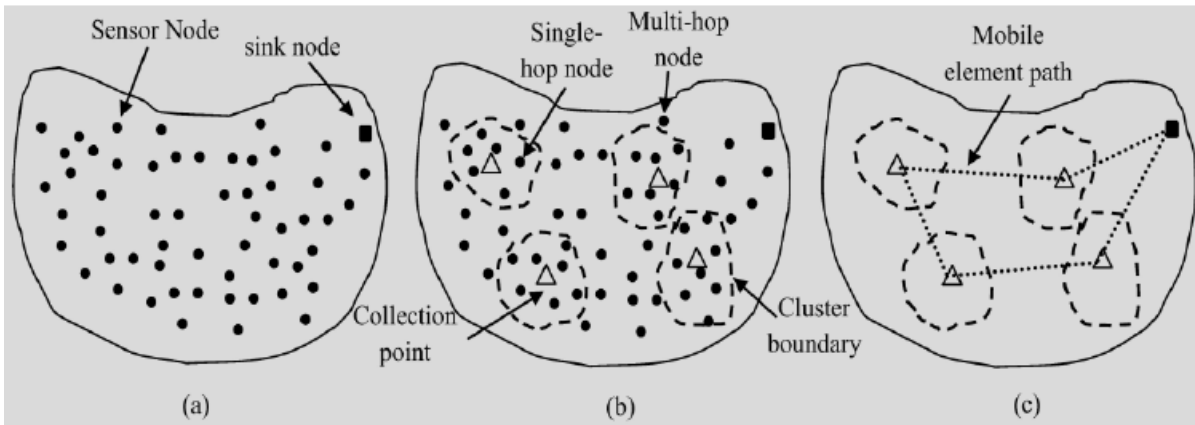


FIG. 2.1 – Exemples sur (a) Distribution des nœuds de capteurs (b) Regroupement des nœuds de capteurs (c) Chemin de le sink mobile.

Le but de cette technique est d'augmenter le nombre d'un seul saut en augmentant ainsi les noeuds passerelles. Cette technique est exécutée en trois phases : phase de clustérisation, phase de détermination de chemin et phase de collecte de données.

A. Phase de clustérisation: Les noeuds sont regroupés en clusters basés sur leur communication avec l'un et l'autre. Chaque cluster représente un réseau Mash où tous ses noeuds sont connectés les uns aux autres de telle sorte que [14]:

$$G_k = \{i,j | w_{i,j} = 1 \text{ pour } i \neq j\}, \text{ où } k = 1,2,\dots,M \text{ et } i,j = 1,2,\dots,N_k \quad (2.1)$$

où:

2. Nœuds à sauts multiples: les nœuds qui ne sont pas situés dans la intervalle de communication du noeud sink, et qui nécessitent ensuite des protocoles de communication multi-sauts.

G_k : Ensemble des noeuds, N_k : nombre de capteurs dans l'ensemble G_k ,
 $w_{i,j}$: matrice de connectivité, où $w_{i,j} = 1$ si les noeuds i et j sont connectés;
sinon $w_{i,j} = 0$ M : Nombre de clusters dans le réseau

Il est possible d'avoir un noeud commun entre deux ou plus clusters ce qui représente un problème. Pour éviter ce problème le noeud sera enlevé du cluster avec de petits noeuds et conservé dans le cluster avec beaucoup de noeuds.

B. Phase de détermination de chemin: Le principal problème de ce type de réseau est l'énergie. Dans cette technique, le sink mobile devrait suivre un chemin limité pour que la collecte de données se fasse de façon normale et les économies d'énergie puissent être maintenues autant que possible. Les noeuds sont divisés dans des clusters dans la phase précédente, l'idée est de créer un ensemble de points CP, où chaque cluster a un point de CP. Le point central de chaque cluster est choisi comme un CP. Et il est calculé par la formule suivant [14]:

$$C_k = \left[\sum_{i=1}^{N_k} \frac{X_i}{N_k}, \sum_{i=1}^{N_k} \frac{Y_i}{N_k} \right] \quad (2.2)$$

Quand le CP est choisi pour chaque cluster, le chemin du sink mobile sera déterminé en appliquant un algorithme de TSM (Travel Sales Man). Pour déterminer le chemin de la première position du sink qui englobe tous les CPs. Comme c'est indiqué dans la figure 2.1.

C. Phase de reduire le chemin: En déterminant un chemin, le principal problème est sa longueur qui peut excéder le chemin prédéterminé. Dans ce cas un mécanisme devrait être utilisé pour réduire la longueur du chemin en supprimant un ou plusieurs CPs qui compose le chemin. La première étape est que le CP enlevé doit conduire à réduire le chemin plus que les autres CP. Le deuxième étape basée sur l'augmentation du nombre total de noeuds à un seul saut en maintenant un groupe de noeuds à plus grand nombre de capteurs. Les deux étapes sont intégrées à l'algorithme du CBDC dans une fonction de bénéfice qui est appliquée à toutes les CP, puis le CP avec la valeur de bénéfice minimum est supprimé. Ceci est répété jusqu'à ce que la contrainte de chemin du sink mobile soit satisfaite. La fonction de bénéfice utilisée à cet effet est donnée comme:

$$\delta(c_k) = \frac{\alpha_k}{\beta_k N_k} \quad (2.3)$$

où:

α_k : Différence entre le chemin avant et après le retrait du CP
 N_k : Nombre de noeud capteur dans cluster
 β_k : Représente la valeur minimale de la distance entre c_k et c_{k+1}
 c_k : Collecte point

D. Phase de collecte de données: Pour la collecte de données, chaque noeud de capteur doit se communiquer avec CP, par un ou plusieurs sauts. Pour un saut, les noeuds n'ont pas besoin d'un noeud intermédiaire (noeud passerelle) pour se connecter au CP. Par contre pour plusieurs sauts, ils ont besoin d'un noeud intermédiaire (noeud passerelle). Cette trajectoire peut contenir plusieurs noeuds incluant un noeud passerelle. Ceci est réalisé par l'algorithme Dijkstra[24]. Dans cet algorithme, la trajectoire la plus courte au noeud de passerelle est trouvée. Quelques noeuds passerelles peuvent encourir les autres noeuds pour envoyer des paquets plus que ses voisins. Pour éviter ce problème, un seuil est défini pour diviser la charge sur chaque noeud passerelle calculé par [14]. Ce seuil est calculé par la Formule suivante:

$$h_k = \frac{N_G}{MN_k} \quad (2.4)$$

où:

- h_k : Le seuil
- N_G : Nombre total de noeuds de passerelle
- N_k : Nombre de noeud capteur dans cluster
- M : Nombre de cluster dans le réseau

La valeur du seuil h_k peut être changer d'un cluster à un autre selon le nombre de noeuds dans le cluster.

Quand le sink atteint le CP il envoie une requête aux noeuds pour qu'ils envoient leurs données à partir des noeuds capteurs. Ce qui fait que les noeuds envoient leurs données sur la même trajectoire.

2.3 Protocole IPCR (Intersection Points of Communication Range)

Dans cette technique, les données doivent être collectées par un noeud mobile. Deux problèmes majeurs font face à la collecte de données, le premier concerne l'énergie. Les noeuds peuvent économiser une certaine énergie en évitant des connexions multi-sauts, d'ailleurs nous pouvons utiliser un seul saut pour connecter à un noeud mobile. Le deuxième problème est le temps de la transmission des données associées au noeud mobile à faible vitesse. De ce fait, la latence du noeud mobile peut être réduite tandis que la vitesse du noeud mobile augmente ou en réduisant la longueur du chemin. Donc, la technique se concentre sur la réduction de la longueur du chemin [15].

Le sink mobile suit un chemin limité par une combinaison des points de collecte dispersés dans la zone de capture comme le montre l'équation suivante :

$$S = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_n) \quad (2.5)$$

S représente l'ensemble des points de collecte, soit :

$$c_i = (n_1, n_2, n_3, \dots, n_{p(i)}) \quad (2.6)$$

Dans un réseau sans connexion, les nœuds ne sont pas connectés l'un à l'autre, nous avons $|S| = M = N$. Dans ce cas, le sink devrait visiter chaque nœud pour collecter ses données, ceci est un scénario inconvenable qui influe significativement sur la capacité du sink. Mais pour un réseau entièrement connecté, nous avons $|S| = 1$. Dans ce cas, il y a un seul point de collecte de données. Alors, le scénario est rarement trouvé. Cette technique consiste à fournir des points de collecte de données multiples: $1 < |S| < N$, N représente le nombre de noeuds dans le réseau.

En commençant un nouveau round, le sink commence à se déplacer à travers tous les points de collecte à la vitesse $q_{m/s}$. Il doit effectuer un tour complet à $\frac{1}{q}$ seconde de longueur L . Deux méthodes sont proposées pour organiser la collecte de données. La première méthode consiste à définir le taux du capteur tout $\frac{1}{q}$ second. Il s'agit toujours d'un problème de synchronisation. Un problème peut donc se produire pour l'élément mobile et se ralentir quelque part sur le réseau. La deuxième méthode consiste à utiliser l'algorithme d'arrêt pour la collecte de données SCD.

Principe

Pour surmonter le problème d'énergie et la longueur de chemin où pour minimiser au moins leur impact, IPCR a été suggéré qui se compose de plusieurs étapes. La première étape de cette technique, après la dispersion de tous les nœuds du champ, consiste à connaître les nœuds ensemble où chaque nœud envoie un message pour identifier ses voisins et connaître la distance entre eux tout en utilisant RSSI. Ainsi, chaque nœud garde une liste de ses voisins et aussi comment fermer la communication entre leurs voisins. Tout cela aide à localiser les points de collecte [15].

On suppose que i et j sont deux nœuds qui se communiquent l'un avec l'autre où r_{ij} et d_{ij} représentent respectivement la portée de communication et la distance entre les nœuds i et j . Ces nœuds sont connectés si $d_{ij} < r_{ij}$. Par conséquent, le point de collecte est placé dans la zone de l'interconnexion des nœuds. Dans chaque cluster de nœuds, il y a un point où le sink devrait arrêter et collecter des données qui sont la zone de l'interconnexion de ces nœuds. Le point de centre de la ligne est désigné entre les points d'intersection de deux nœuds, comme indiqué dans la figure 2.2 (a). Dans le cas de plus de deux nœuds, il faut indiquer le point d'intersection des lignes liant les points d'interconnexion des nœuds, comme dans la figure 2.2 (b). Les nœuds isolés sont choisis comme un point de collecte autonome. Après la détermination des points de collecte, l'utilisation de l'algorithme TSP (Sales-Man Problème) est faite pour désigner le chemin le plus court qui suit tous les points de collecte [15].

Raffinement du chemin : après que les points de collecte sont identifiés et le chemin qui inclut ces points est déterminé. Une certaine amélioration tout au long du chemin doit être faite pour le réduire et fournir ainsi un peu d'énergie du nœud mobile par les nœuds isolés, comme c'est indiqué dans la figure 2.3 (b). Les points de collecte sont placés dans le même emplacement que le nœud isolé, la portée de la communication de ce nœud peut être utilisée pour indiquer l'emplacement de points de collecte pour réduire la longueur du chemin, comme est indiqué dans la figure 2.3 (c). Quelques nœuds partagent plus d'un point de collecte. Ces points communs doivent être enlevés pour réduire encore le chemin, comme est indiqué dans la figure 2.3 d.

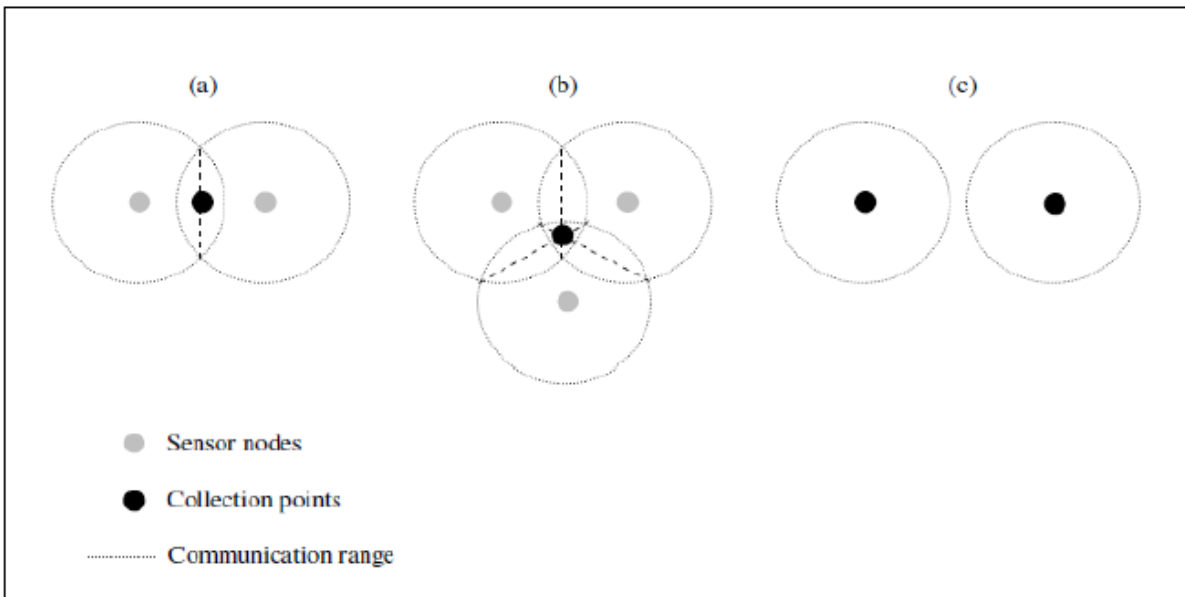


FIG. 2.2 – Scénarios de détermination des points de collecte

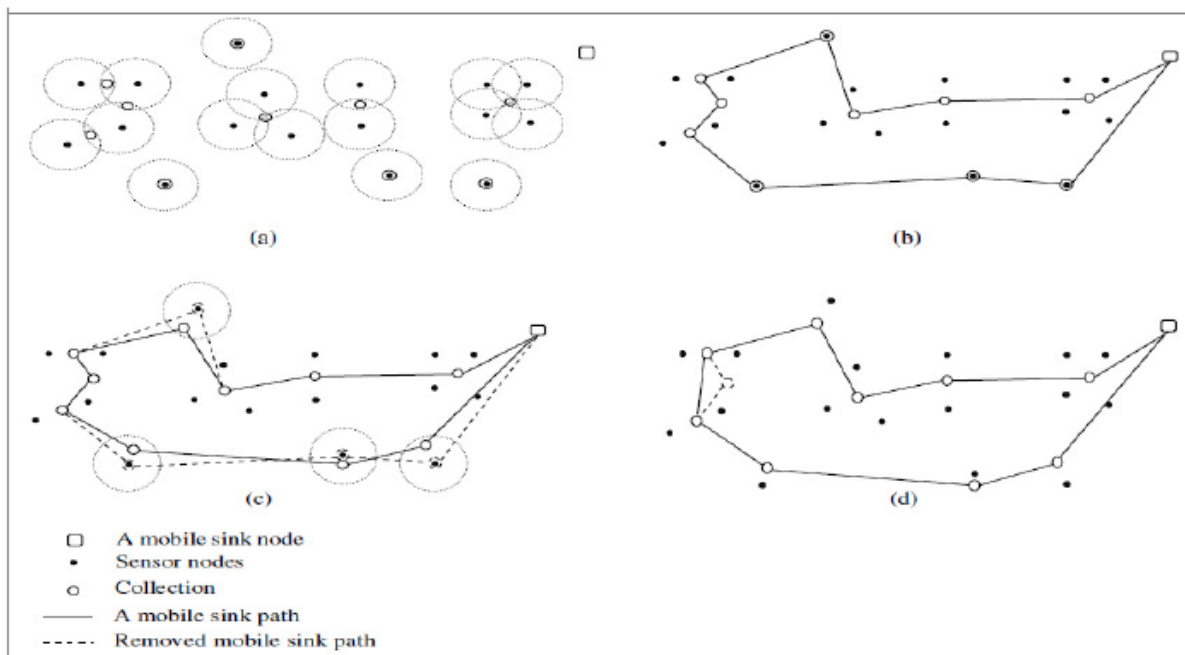


FIG. 2.3 – Scénarios de détermination des points de collecte

2.4 Protocole RRP (Protocole de routage basé sur Rendez-vous)

Modèle de réseau

N nœuds sont déployés dans la zone de manière aléatoire, avec la même capacité en matière d'énergie de la batterie et de traitement, et également en mesure de calculer son énergie restante. Et nous avons un nœud de sink avec une mémoire, un traitement et une énergie illimités se déplaçant à une vitesse de 5 à 30 km/s. Le réseau de cette technique est divisé en quatre sections: H_l , H_r , V_u et V_p , comme le montre la figure 2.5(a). Les

nœuds peuvent connaître leur emplacement et aussi changer la mesure dans laquelle ils sont envoyés au maximum. La valeur du seuil de puissance est l'énergie minimale, de sorte que les nœuds ne peuvent effectuer aucun travail à l'exception de capturer les données et les transmettre [16].

Principe

Dans cette technique, une zone virtuelle (région de rendez-vous) est créée avec une largeur W au centre de la zone. Les nœuds dans la région de rendez-vous sont appelés nœud backbone et qui sont connectés pour former un arbre. Les nœuds de l'arbre sont responsables de l'acheminement des données au Sink. Cette technique comprend plusieurs phases : découverte de voisins, formation d'intersection, construction d'arbres, détection de nœuds capteurs et zones de transmission de données.

A. Découverte du voisin Dans cette phase, chaque nœud envoie un paquet de contrôle NBRCO à tous ses voisins. Ce paquet se compose de : Nœud ID, énergie résiduelle et les informations de localisation. Les nœuds exécutant ce paquet reçoivent les informations contenues dans la table Nbrtable. À la fin de cette phase, tous les nœuds reconnaîtront leurs voisins en matière d'énergie restante, l'identifiant et l'emplacement du nœud voisin [16].

B. Formation de région de rendez-vous

Cette technique divise la zone en parties égales, comme le montre la figure 2.4 (a). Pour qu'une région de rendez-vous soit placée au centre de la zone de largeur W (voir la figure 2.4), la zone de réseau maximal est (X_{max}, Y_{max}) , X_w et Y_w pointent vers l'emplacement horizontal et vertical de la région de rendez-vous comme c'est indiqué ci-dessous [16] :

$$W_x = \left(\frac{x_{max} - w}{2} \right) \text{ à } \left(\frac{x_{max} + w}{2} \right) \quad W_y = \left(\frac{y_{max} - w}{2} \right) \text{ à } \left(\frac{y_{max} + w}{2} \right) \quad (2.7)$$

Si un nœud capteur existe dans cette région de rendez-vous (dans la région X_w , Y_w), il est appelé un nœud de base (Backbone), la figure 2.4 montre la région de rendez-vous et les nœuds Backbone.

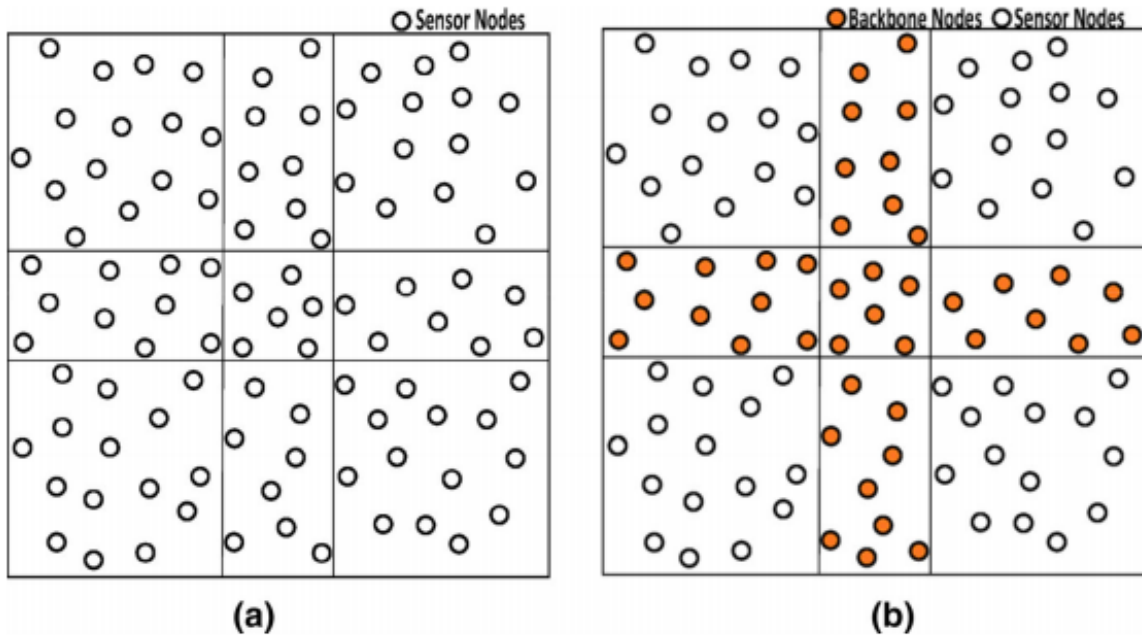


FIG. 2.4 – Région de rendez-vous H_r, H_l, V_u, V_b

C. Construction d'arbre Après la mise en œuvre des phases précédentes, chaque nœud a la liste de ses voisins et des informations sur l'énergie restante, emplacement et ID. Dans cette phase, l'arbre construit de façon à ce que l'arbre contient certains nœuds backbone. Déterminer les nœuds limites des sections: H_l, H_r, V_u, V_p comme indique la figure 2.5 [16].

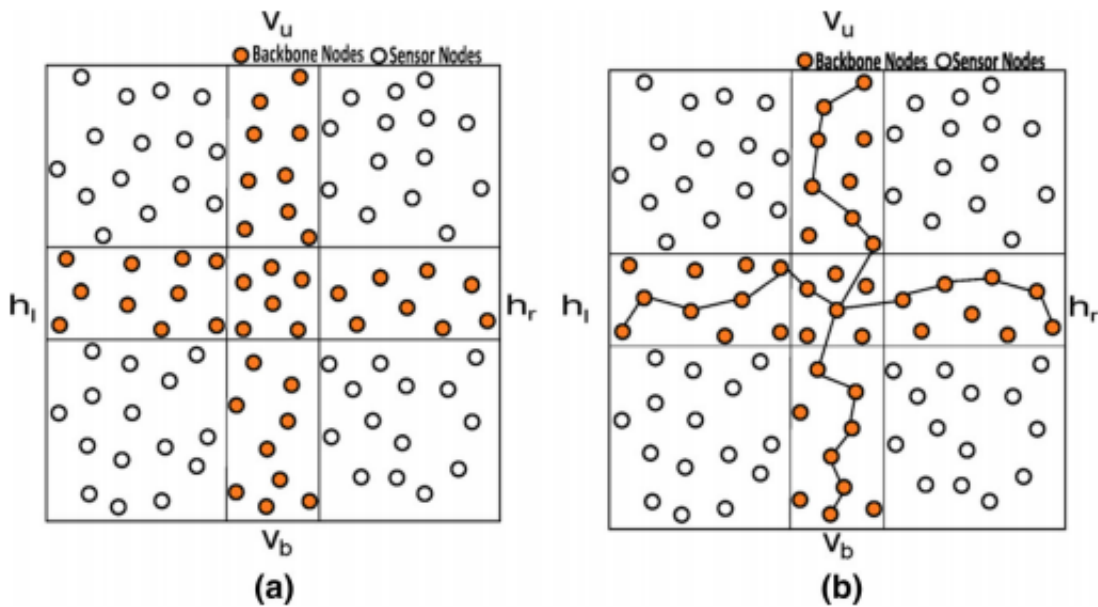


FIG. 2.5 – Région de rendez-vous H_r, H_l, V_u, V_b

D. Découverte de la région du nœud de capteur

Après la construction des arbres, les segments de réseau sont divisés en deux parties pour former huit parties de l'ensemble du réseau, comme le montre la figure 2.5 (a). Cette

phase est résumée dans la découverte de chaque nœud pour son emplacement. Une zone qui appartient également à l'itinéraire le plus court à la région de rendez-vous [16].

E. Transmission de données

Cette étape est divisée en deux méthodes [16].

– Méthode 1

Dans cette méthode, les nœuds sources envoient leurs données au nœud backbone le plus proche qui, à son tour, envoie ces données au Sink

Gestion du sink mobile Le sink se déplace aléatoirement et s'arrête pour un certain temps p à chaque station pour collecter les données. Quand le sink s'arrête et choisit un nœud de passerelle pour collecter les données. Ce nœud transmet ACK au plus proche backbone au moyen d'un nœud intermédiaire pour former une série de nœuds qui reçoivent d'abord un ACK, comme le montre la figure 2.6 (b). Le nœud source envoie ses données à travers cette chaîne.

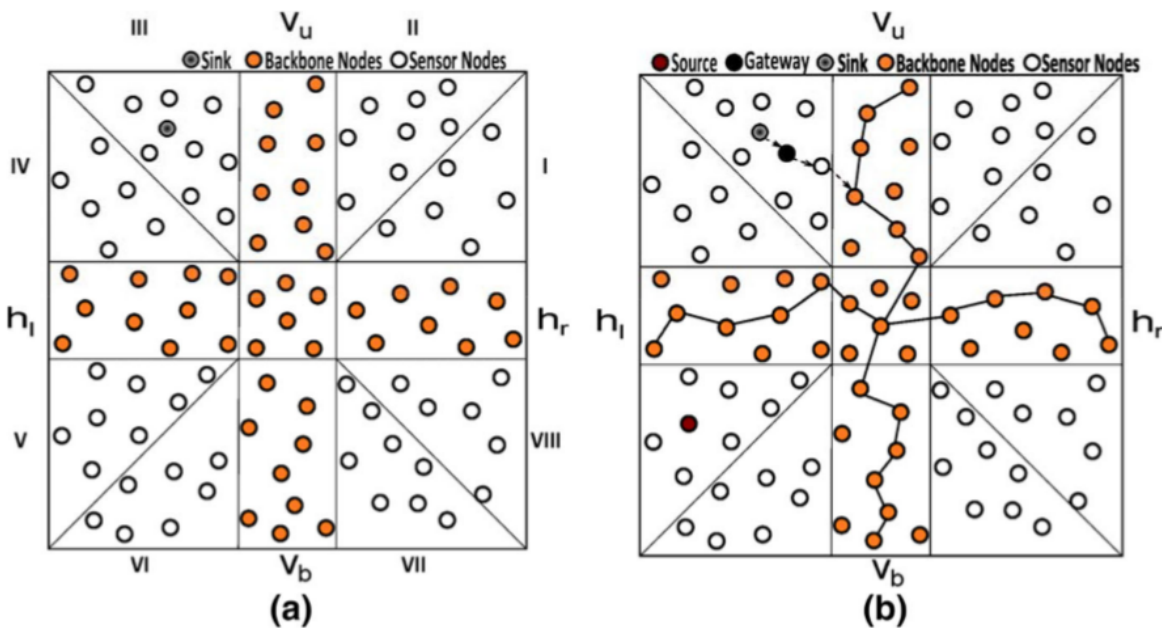


FIG. 2.6 – Découverte de la région et sélection de nœuds passerelle

Transmission de données le nœud source envoie ses données au nœud backbone en utilisant des informations sur ses voisins. Dans un intervalle régulier, les nœuds envoient leur mise à jour de données aux nœuds selon la disponibilité de l'énergie restante.

– Méthode 2

Dans la seconde méthode, le nœud source trouve l'emplacement du nœud sink et lui envoie ses données en utilisant son emplacement.

Gestion du sink mobile Quand le sink atteint un nouvel emplacement, il envoie le paquet Beacon pour obtenir des informations sur son nœud voisin, puis il choisit un de ses nœuds lui envoyant des informations sur son emplacement, le nœud du voisin envoie la position de sink aux nœuds backbone. Et la position de sink est ensuite étendue dans tous les nœuds.

Transmission de données Lorsque le nœud source veut que ses données soient envoyées au sink, le paquet Loc-req est envoyé à l'un des nœuds backbone pour connaître l'emplacement du nœud sink. Le nœud backbone envoie des informations du nœud sink au nœud source, le nœud source envoie ses données au sink en utilisant l'emplacement du sink.

2.5 Protocole M-Collecter (collecteurs mobiles)

Principe

Le réseau RCSF est utilisé dans plusieurs applications pour surveiller une zone et fournir de l'information à son sujet. Le défi dans ce réseau est d'augmenter la durée de sa vie en gardant l'énergie des nœuds. Ils consomment l'énergie à travers deux étapes importantes qui sont: capter les données et les envoyer. Les nœuds les plus proches de sink (collecteurs de données) consomment plus d'énergie que d'autres parce qu'il y a des données envoyées à partir des nœuds éloignés du sink. Dans cette technique, la tâche principale est de mettre un seul ou plusieurs nœuds capables de se déplacer pour collecter les données à un taux constant. Nous appelons ce nœud m-collecteur de sorte que les données sont regroupées dans un paquet et puis les collecter dans une période donnée [17].

Le nœud M-Collecter commence à se déplacer à travers le réseau pour la collecte des paquets de données à partir de son premier emplacement DS, de sorte que dans la première étape, le m-collecteur découvre les nœuds voisins en envoyant un paquet "Hello" périodiquement. Le nœud voisin reçoit le message et l'envoie ACK à M-Collecter via une connexion à un seul saut. Le M-collecteur sélectionne l'emplacement du nœud voisin comme un point de vote (polling point) (voir la figure 2.7). Le M-Collecter se déplace et envoie un message "hello" aux nœuds à proximité dans la région L5, L6. La sélection des points de vote est proposée pour avoir $p = L5, L6$, les nœuds S1, S2, S3, S4 réceptionnent le message et envoient une réponse avec un message ACK. Ils déterminent les emplacements de ces nœuds comme un point de vote proposé pour avoir $p = L1, L2, L3, L4, L5, L6$, le chemin du nœud M-Collecter est formé et comprend tous les points [17].

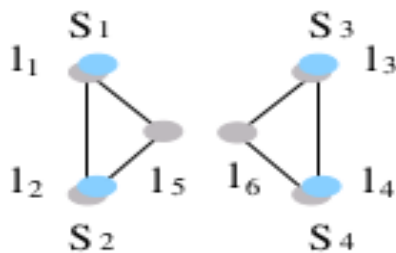


FIG. 2.7 – Exemples de point de vote, nœud voisins (S_i) et point vote candidat (l_i).

Pour conserver l'énergie des nœuds. Ils n'ont pas actifs c'est-à-dire ils n'écoutent pas le canal pour envoyer ses données dès que M-Collector arrive au point de vote, il envoi un message aux nœuds proches de les réactiver, et ensuite ils envoient des paquets de données au M-Collector.

Problème de trouver le chemin le plus court

Le problème qui se présente est de trouver le plus court chemin comme indique la figure 2.8. Nous supposons ici que le M-collecteur se déplace à une vitesse constante, et nous mettons R et r comme un rayon du champ du capteur et de la portée de l'émetteur. Si $\frac{r}{R} \implies 0$, le M-Collector visite chaque nœud individuellement et collecte les données. Si $\frac{r}{R} \leq 1$ nous avons un point de vote pour que M-collecteur puisse le visiter et collecter toutes les données sur les nœuds du réseau. Dans cette technique, nous devons avoir plusieurs points de vote de sorte que $0 < \frac{r}{R} < 1$ [17].

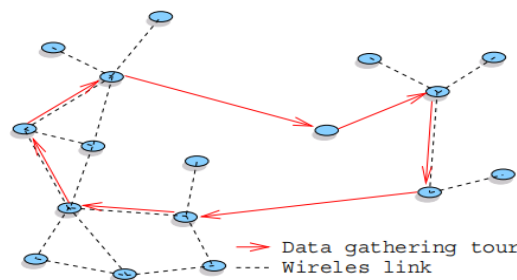


FIG. 2.8 – Problème de collecte de données à un seul saut

Nous avons un ensemble de nœuds $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_{ns}\}$ et un ensemble de points de vote $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_{nl}\}$, de sorte que chaque point de vote proposé "LP" possède un nombre de nœuds de capteurs. Chaque nœud de capteur doit appartenir au moins à un point de vote.

Collecte de données à un seul M-Collector

Après avoir obtenu tous les points de vote et formé le chemin, le Tour commence à collecter les paquets de données comme indique l'image 2.9, Le M-collecteur se déplace de sa position SD au point le plus proche de la P1, puis il choisit P2 et P3, respectivement, en fonction de la distance la plus courte et la moins coûteuse [17], enfin le chemin est spécifié comme indique l'image 2.9(d).

Collecte de données avec multiple M-Collector

Nous avons vu comment collecter les paquets de données pour un M-Collector, mais dans un grand environnement, un seul nœud ne peut pas couvrir tout le réseau, donc la solution réside dans l'utilisation de plusieurs nœuds mobiles (multiple M-Collector). Le réseau est divisé en plusieurs sections et chaque section est responsable du nœud m-collecteur. Un problème est survenu : comment trouver les sous-chemins de chaque M-collecteur afin que tout le réseau soit couvert comme indique la Figure 2.10. Après avoir achevé la collection de tous les paquets de données par toutes les sections, les données agrégées s'acheminent vers M-Collector1 en raison de la proximité du Data set [17].

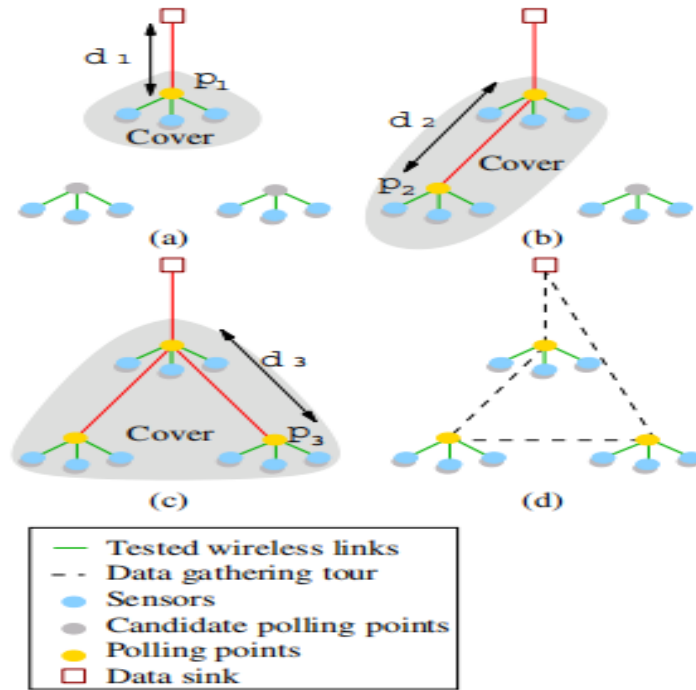


FIG. 2.9 – *Algorithme de couverture*

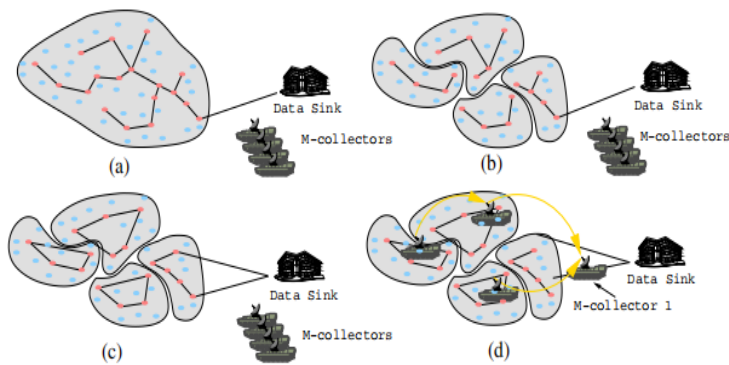


FIG. 2.10 – *Collecte de données avec plusieurs M-collectors*

La Figure 2.10 montre les étapes de la collecte de données avec multiple M-Collector où montre : (a) Diviser le réseau en certains sous-réseaux et construire l'arbre ; (b) diviser l'arbre en quatre sections ; (c). Rechercher le chemin le plus court dans chaque section ; (d) Une fois la collecte des paquets de données est terminée, ils sont dirigés vers M-collector 1 près data set.

2.6 Synthèse

Le table représente un résumé des quatre techniques de la collecte de données que nous avons vu. Comme on peut le voir dans le tableau, toutes les techniques utilisent un algorithme TSP pour trouver le chemin le plus court et aussi la longueur du chemin

est limitée, sauf la technique Rendez-Vous Parce que cela dépend du mobilité aléatoire contrairement aux autres techniques qui utilisent la mobilité contrôlée.

Technique	Mobilité	Clustérisation	Multi-sauts	Chemin du sink	Algorithme	Plusieurs sink
CBDC	contrôlée	Oui	Oui	limité	TSP	Non
IPCR	contrôlée	Oui	Non	limité	TSP	Non
Rendez-vous	aléatoire	Non	Oui	non limité	-	Non
M-collector	contrôlée	Non	Non	limité	TSP	Oui

TAB. 2.1 – *Résumé des quatre techniques*

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quatre techniques de collecte de données: CBDC, IPCR, Rendezvous, M-Collector pour traiter le problème d'énergie et la longueur du chemin pour le sink mobile en faisant un chemin plus court.

Dans le chapitre suivant, nous exposerons une étude comparative entre les techniques précédemment mentionnées. Enfin, nous exécuterons une simulation des techniques CBDC et IPCR.

LES PERFORMANCES DES PROTOCOLES
CBDC ET IPCR

3.1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sont utilisés dans plusieurs applications, comme c'est mentionné précédemment, pour surveiller et fournir les informations. Ce réseau est devenu un domaine large pour l'étude et le développement de ses algorithmes. Un des facteurs les plus importants dans l'étude et le développement est de mener une simulation de l'algorithme pour identifier ses inconvénients et ses avantages avant qu'il ne soit lancé dans un environnement réel, une des solutions utilisées est un système Contiki OS. Contiki OS est un système open source basé sur Linux développé pour Iot (Internet of Things) [18] et les réseaux de capteurs RCSF.

Dans ce chapitre, nous allons simuler les techniques de la collecte de données CBDC et IPCR.

3.2 Outils d'implémentation

3.2.1 Outils logiciel

Contiki OS

Contiki est un système open source, léger, flexible, multitâche et générique qui s'appuie sur un modèle de fonctionnement hybride. Ce système a été développé par un groupe de développeurs de l'industrie et du monde universitaire par ADAM Dunkels de l'institut suédois d'informatique en 2002 [3]. Destiné à être embarqué dans des capteurs miniatures ne disposant généralement que de ressources limitées, Contiki a présenté l'idée d'utiliser la communication IP dans des réseaux de capteurs basse consommation.

Le Simulateur Cooja

Cooja est un simulateur fourni avec Contiki. Il permet de simuler un réseau de capteurs. Grâce à ce simulateur, nous pouvons tester rapidement un code écrit en langage C, sans avoir besoin de flasher de vrais capteurs. Nous pouvons répartir un nombre quelconque de noeuds sur une zone donnée. Nous visualisons alors en temps réel (ou accéléré) la topologie du réseau. Dans une simulation (voir la figure 3.1), nous avons plusieurs fenêtres :

- **La fenêtre Network:** dans cette fenêtre s'affiche la représentation graphique du réseau. Elle nous montre tous les noeuds dans le réseau simulé.
- **La fenêtre Simulation contrôle:** c'est la fenêtre responsable du contrôle de la simulation où nous pouvons lancer, mettre en pause et recharger notre simulation (démarrage / mise en pause / arrêt).
- **La fenêtre Notes:** où nous pouvons mettre des notes pour notre simulation.
- **La fenêtre Mote Output:** ce module est très important car c'est ici que sont imprimées les sorties des capteurs. Un champ de texte permet d'entrer un filtre pour cibler un capteur ou un type de message en particulier.
- **La fenêtre Timeline:** elle nous affiche tous les événements de communication dans la simulation dans le temps, très pratique pour comprendre ce qui se passe dans le réseau.

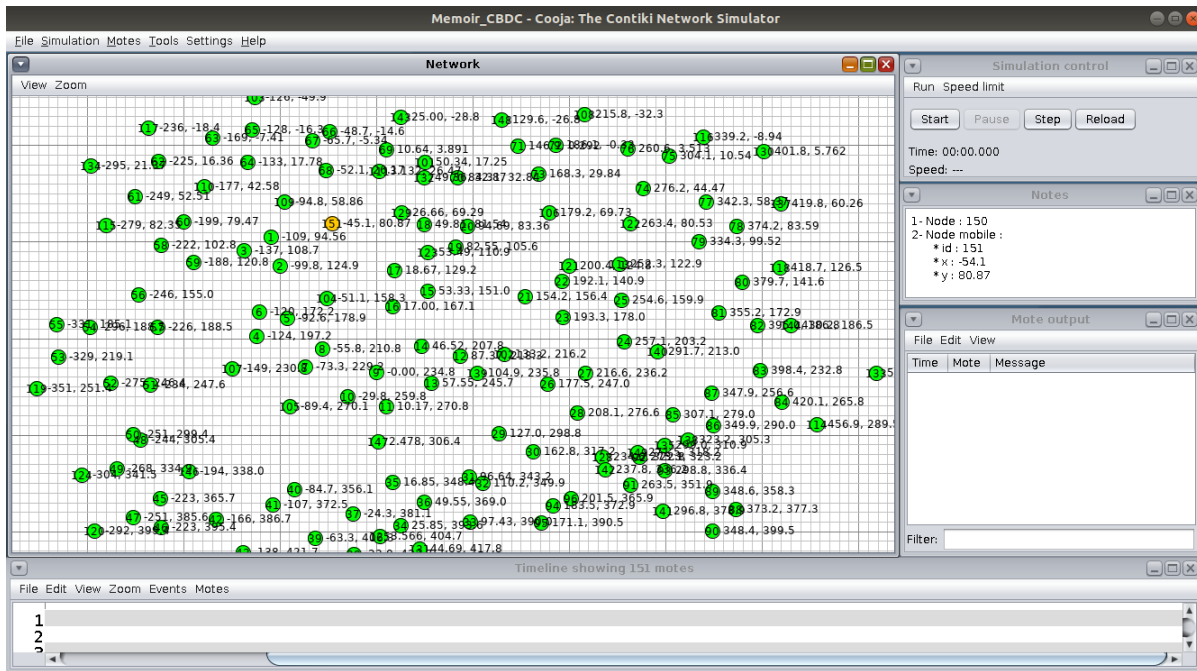


FIG. 3.1 – Interface graphique du le simulateur Cooja

3.2.2 Outils matériel

Nous avons utilisé un ordinateur dont la configuration suivante :

- **Processeur:** Intel(R) Core (TM)i7-4500U CPU @ 2.40GHz.
- **Mémoire:** 8 Go.
- **Disque dur:** 500 Go.

3.3 Analyse des résultats

Nous avons testé les techniques de la collecte de données CBDC et IPCR, longueur du chemin, le nombre de points de collecte et la couverture du réseau. Les nœuds sont répartis au hasard dans le champ 500x500, selon les paramètres suivants:

Simulation	valeurs
zone de réseau	500x500
nombre des noeuds	20,30,40,50,60,80,100
Mobilité	contrôlé
Portée de transmission	40,60,80

TAB. 3.1 – Paramétrés de simulation

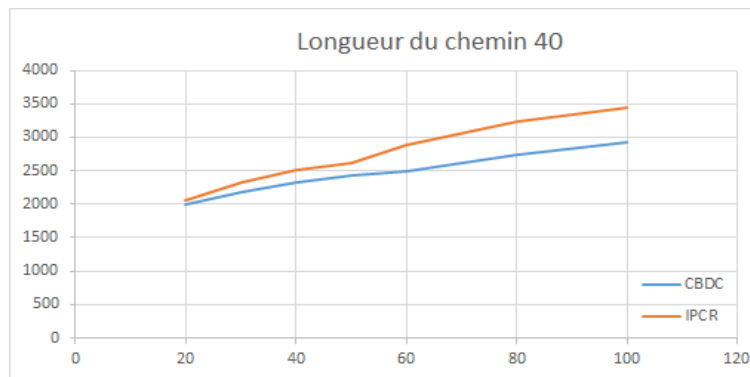


FIG. 3.2 – Comparaison des longueurs de chemin de puits mobiles entre l'IPCR et CBDC avec la portée de transmission 40

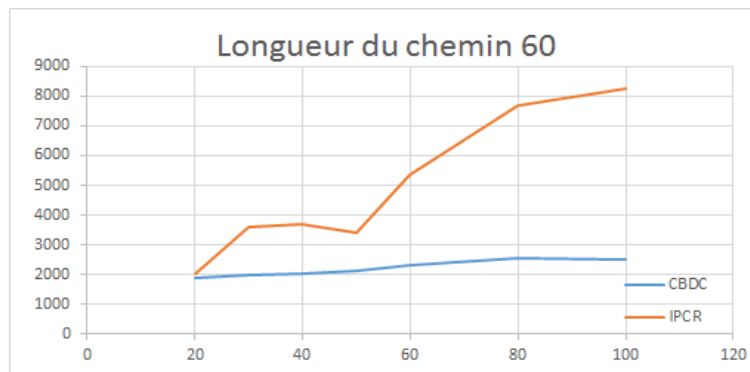


FIG. 3.3 – Comparaison des longueurs de chemin de puits mobiles entre l'IPCR et CBDC avec la portée de transmission 60

Les figures (3.2, 3.3, 3.4) représentent la longueur du chemin par rapport au nombre de nœuds avec les techniques IPCR et CBDC avec des portées de transmission différentes. On remarque que le chemin de CBDC est plus court que celui de IPCR à cause de CBDC basé sur la suppression des points de collecte pour minimiser la longueur de son chemin et pour que les nœuds des points de collecte supprimées envoient ses données par plusieurs sauts au Sink. La technique IPCR montre le plus longue chemin car elle se base sur le

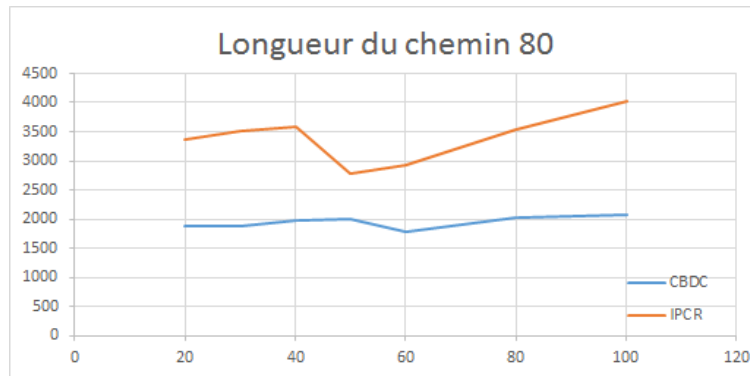


FIG. 3.4 – Comparaison des longueurs de chemin de puits mobiles entre l'IPCR et CBDC avec la portée de transmission 80

point d'intersection. Pour éliminer les sauts multiples, le Sink visite tous les noeuds dans le réseau.

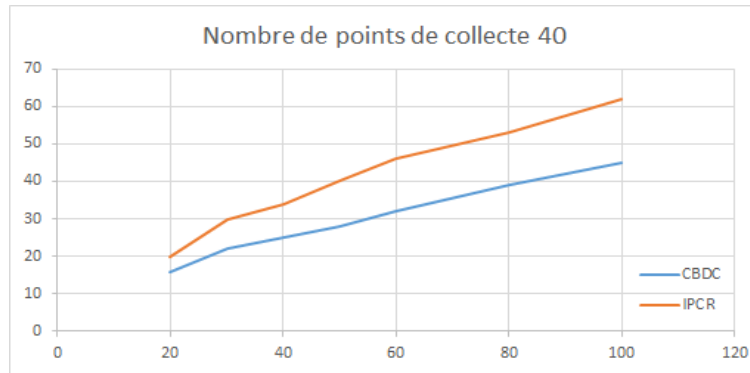


FIG. 3.5 – Le nombre de points de collecte de l'IPCR, CBDC avec la portée de transmission 40

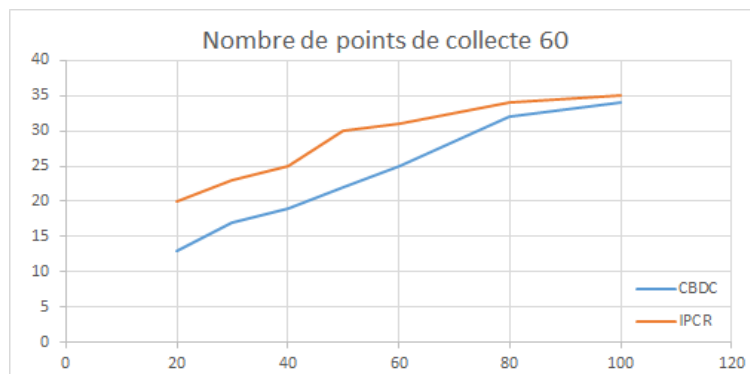


FIG. 3.6 – Le nombre de points de collecte de l'IPCR, CBDC avec la portée de transmission 60

Les figures (3.5, 3.6, 3.7) représentent nombre de points de collecte de l'IPCR et le CBDC par rapport au nombre de noeuds dans des portées transmission différents. Nous remarquons que la technique CBDC est meilleure en terme de points de collecte, cela peut être justifier par la suppression des points de collecte.

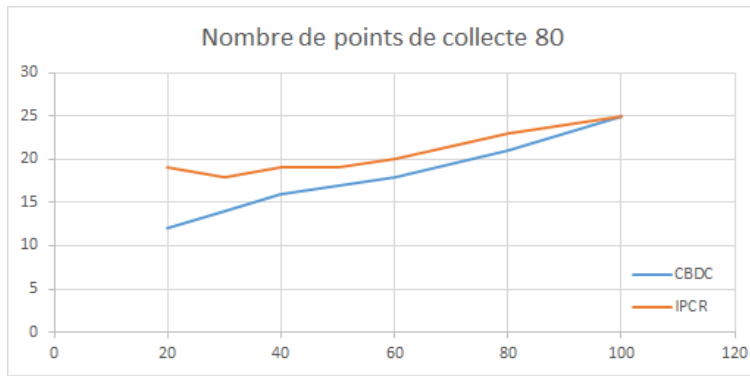


FIG. 3.7 – Le nombre de points de collecte de l’IPCR, CBDC avec la portée de transmission 80

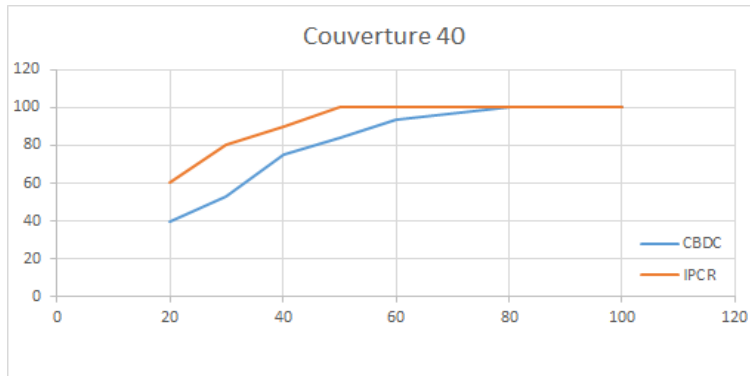


FIG. 3.8 – La couverture du réseau avec la portée de transmission 40

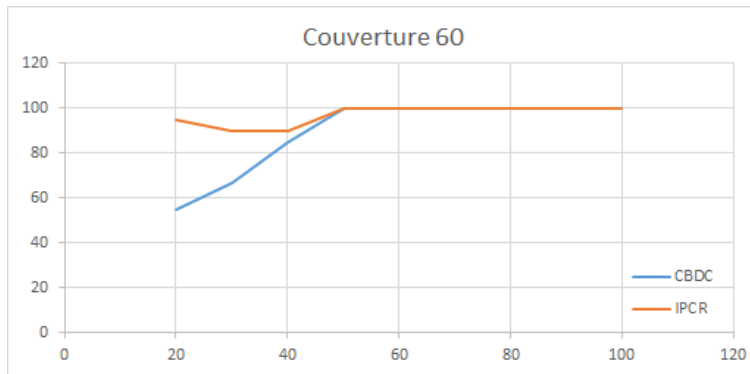


FIG. 3.9 – La couverture du réseau avec la portée de transmission 60

Les figures (3.8, 3.9, 3.10) représentent des diagrammes de variation de nombre des noeuds voisins des points de collecte de l’IPCR et le CBDC par rapport au nombre de noeuds dans une portée de transmission différente. Cette variation représente la couverture du réseau qui est mesurée de manière que le nombre de tous les noeuds proches des points de collecte soient calculés et évalués sur le total. Nous remarquons que l’IPCR est plus performant en termes de couverture du réseau par rapport au CBDC.

Dans cette comparaison, le CBDC a mieux réussi à répartir la charge sur l’ensemble des noeuds jusqu’au le noeud sink. Dans la technique de l’IPCR, elle s’est concentrée sur la réduction des sauts des noeuds multiples pour fournir un peu d’énergie.

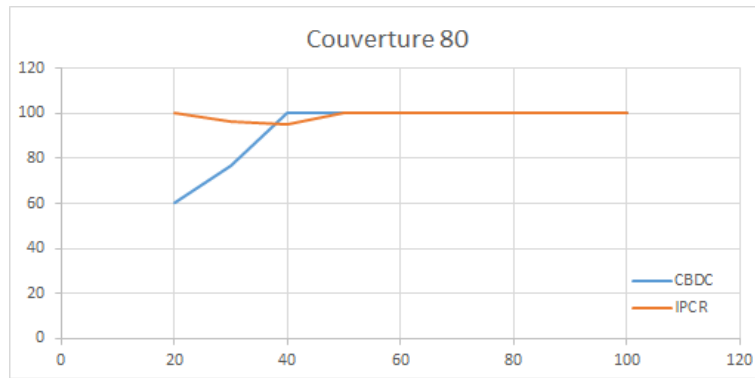


FIG. 3.10 – *La couverture du réseau avec la portée de transmission 80*

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats des tests réalisés avec l'environnement d'implémentation Contiki qui utilise le Simulator cooja. Initialement on choisit deux techniques IPCR et CBDC. Par la suite, nous avons implémenté des séries de tests avec une variation de paramètres comme le nombre de nœuds, le type de mobilité (contrôle), la plage de transmission. Et après nous avons fait une comparaison entre les deux implémentations (IPCR, CBDC). Par ailleurs, nous avons constaté que les tests de performances effectués sur la consommation d'énergie et les longueurs de chemin entre le nœud source et le nœud sink varient chaque fois qu'on fait un changement dans le nombre et la portée de transmission. Le nombre de points de collecte de l'IPCR et le CBDC a été mesuré avec des portées de transmission différentes et nous remarquons que le CBDC est supérieur à l'IPCR dans le cas de longueurs de chemin car le CBDC supprime certains points de collecte par rapport à l'IPCR. Et l'IPCR est plus performant en termes de couverture du réseau par rapport au CBDC.

Conclusion générale

Ces dernières années, le RCSF est devenu très populaire grâce à un large éventail d'applications dans de nombreux domaines qui sont confrontés à de nombreux défis notamment l'énergie limitée du noeud. En raison de la nature fixe de ce réseau qui a généré des problèmes tels que la non fiabilité des communications entre les noeuds capteurs et le noeud Sink et la congestion du réseau. Les développements récents ont conduit à l'émergence d'une nouvelle classe d'applications de réseau mobile ce qui facilite l'acheminement des données, réduit la consommation d'énergie de noeud et assure une bonne couverture du réseau.

Avec tous ces avantages qui naviguent sur ce réseau, certains messages de contrôle lui permettant de détecter et de mettre à jour l'itinéraire présent des inconvénients. Attendre une période pour découvrir le chemin ou pour collecter de donnée entraîne des retards importants pour certains noeuds et donc la perte de certaines informations.

Dans ce memoir nous avons testé l'influence du chemin du puits mobile sur la couverture dans les RCSF, avec le technie d'Ipcr et CBDC. L'ipcr a représente un meilleur résultat en matière de la couverture e réseaux par rapport de CBDC. Alors on conclue que pour assurer un bon couvert de réseaux on choisit IPCR.

Notre travail réalisé est une étape initiative pour change puits mobile par un drone. La collecte de données par un puits mobile est souvent reliée à un animal ou à un véhicule pour y ajouter la mobilité. Il est difficile de se déplacer dans certains environnements dangereux et accidenté ou des avec obstacles. Ainsi, l'utilisation d'un drone ajoutera donc une plus grande liberté de mouvement, augmentera également les capacités en termes de ressources et permettra de concevoir des chemins efficaces pour la collecte de données sensibles au temps.

Bibliographie

- [1] Y. DERDOUR, *Conception et Développement d'un Système d'Exploration basé sur les Réseaux de Capteurs sans Fil avec Sink Mobile*. PhD thesis, Université d'Oran1-Ahmed Benbella, 10 2015.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, 2002.
- [3] P. Budhwar, "Tinyos: An operating system for wireless sensor networks," *www.ijcst.com*, vol. 6, 03 2015.
- [4] S. D. Indu, "Wireless sensor networks: Issues & challenges," *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, vol. 3, no. 6, pp. 681–685, 2014.
- [5] C. S. Kingsly, J. George, and C. Chandran, "Critical study on constraints in wireless sensor network applications," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 2, no. 7, pp. 1311–1316, 2013.
- [6] W. Drira, *Un système de collecte sécurisé et de gestion des données pour les réseaux de capteurs sans fils*. PhD thesis, Rapport de thèse, 2012.
- [7] A. More and V. Raisinghani, "A survey on energy efficient coverage protocols in wireless sensor networks," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 29, no. 4, pp. 428–448, 2017.
- [8] Z. Maouche, Y. Djermoune, M. Amad, *et al.*, *Adaptation des architectures P2P pour les applications des réseaux de capteurs sans fil*. PhD thesis, Université de bejaia, 2017.
- [9] M. Di Francesco, S. K. Das, and G. Anastasi, "Data collection in wireless sensor networks with mobile elements: A survey," *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, vol. 8, no. 1, p. 7, 2011.
- [10] S. Basagni, A. Carosi, C. Petrioli, and A. Boukerche, *Mobility in wireless sensor networks*. Wiley Series on Parallel and Distributed Computing. John Wiley & Sons, Inc . . . , 2008.
- [11] L. Abdelkader, T. Achoui, L. Belkhiri, *et al.*, *Etude des modèles de mobilité dans RCSFs avec station (s) de base mobile (s)*. PhD thesis, Université de bejaia, 2016.
- [12] M. H. A. Kahina, M. H. Samia, and C.-E. M. K. N. MAA, "La gestion des données dans les réseaux de capteurs sans fil."
- [13] A. Belfkih, B. Sadeg, C. Duvallat, and L. Amanton, "Les bases de données dans les réseaux de capteurs sans fil," *Technique et Science Informatiques*, vol. 33, no. 9-10, pp. 739–776, 2014.
- [14] A. I. Alhasanat, K. D. Matrouk, H. A. Alasha'ary, and Z. A. Al-Qadi, "Connectivity-based data gathering with path-constrained mobile sink in wireless sensor networks," *Wireless Sensor Network*, vol. 6, no. 06, p. 118, 2014.
- [15] A. Alhasanat, K. Alhasanat, and M. Ahmed, "Range-based data gathering algorithm with a mobile sink in wireless sensor networks,"

- [16] S. Sharma, D. Puthal, S. K. Jena, A. Y. Zomaya, and R. Ranjan, “Rendezvous based routing protocol for wireless sensor networks with mobile sink,” *The journal of Supercomputing*, vol. 73, no. 3, pp. 1168–1188, 2017.
- [17] M. Ma and Y. Yang, “Data gathering in wireless sensor networks with mobile collectors,” in *2008 IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing*, pp. 1–9, IEEE, 2008.
- [18] C. Thomson, I. Romdhani, A. Al-Dubai, M. Qasem, B. Ghaleb, and I. Wadhaj, “Cooja simulator manual,” *Edinburgh Napier University: Edinburgh, UK*, 2016.